

# SILLANSUUNNITTELUOHJEET

(KOEKÄYTTÖÄ JA LAUSUNTOJA VARTEN MONISTETTU,  
ERÄILTA OSILTA KESKENERÄINEN OHJE)

TIE JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS

TVH 2.045

HELSINKI 1976

48

TIE

SILLAN



76

60



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS

SILLANSUUNNITTELUOHJEET

(Koekäyttöä ja lausuntoja varten monistettu,  
eräiltä osilta keskeneräinen ohje)



## Alkusanat

Sillansuunnittelun alueelta on puuttunut yhtenäinen suunnittelun perusteita koskeva yleisohje. Poistaakseen tämän puutteen tie- ja vesirakennushallitus antoi valtion teknilliselle tutkimuskeskukselle toimeksiannon laatia "Sillansuunnitteluohjeet".

Työtä on ohjannut toimikunta, johon ovat kuuluneet:

Yli-ins.	Y. Punnonen	Tie- ja vesirakennushallitus
Professori	H. Paavola	Teknillinen korkeakoulu
Dipl.ins. (1.8.1969 lähtien)	E. Teräs	Valtion teknillinen tutkimus- keskus
Tekn.lis. (31.3.1969 saakka)	H. Myllymäki	Valtion teknillinen tutkimus- keskus

Ohjeen laadinta on kesken eräiltä osilta. Kuitenkin toimikunta katsoi tarkoituksenmukaiseksi ohjeen monistamisen ja jakamisen koekäyttöön siltasuunnittelussa ja huomautusten ja parannusehdotusten tekoa varten.

Luvut I Yleistä ja V Rakenteelliset ohjeet ovat kesken ja jätetty vielä pois ohjeesta. Samoin luvusta IV on joitain sisällysluettelon mukaisia kohtia jätetty vielä pois.

Ohjeen laadintaa jatketaan keskeneräisiltä osilta ja lausuntojen ja koekäytöstä saatujen kokemusten perusteella tehdään mahdolliset tarkistukset nyt julkaistavaan osaan.



## SISÄLLYSLUETTELO

### I Yleistä (puuttuu)

### II Suunnittelun perusteet

1. Maastotiedot
  - 1.1 Siltapaikan maastotutkimus
  - 1.2 Siltapaikan pohjatutkimus
  - 1.3 Siltapaikan vesistötutkimus
2. Tiesuunnitelma
  - 2.1 Tien yleissuunnitelma
  - 2.2 Tiesuunnitelma
  - 2.3 Yksityiskohtaiset suunnitelmat
3. Sillan päämittoja ja -ominaisuuksia koskevat vaatimukset
  - 3.1 Sillan kantavuus
  - 3.2 Aukkomitat
  - 3.3 Sillan leveys ja vapaa korkeus
  - 3.4 Siltaan asetettavat johdot ja laitteet
  - 3.5 Muut vaatimukset
4. Rakenteita koskevat määräykset
  - 4.1 Normit ja standardit
  - 4.2 Täydennykset kuormitusnormeihin
    - 4.21 Tavallisen kuormituksen vähennyskertoimet
    - 4.22 Tukien siirtyminen
    - 4.23 Avattavan sillan sysäykset
    - 4.24 Avattavan sillan kuormat
    - 4.25 Lauttojen ja lauttalaiturien ajoneuvokuorma
    - 4.26 Vesiliikenteen aiheuttamat törmäyskuormat
  - 4.3 Täydennykset pohjarakennusnormeihin
    - 4.31 Aktiivinen maanpaine
    - 4.32 Lepopaine
    - 4.33 Passiivinen maanpaine
    - 4.34 Maanpaineen suunta
    - 4.35 Maanpaine koheesiomaassa
    - 4.36 Maanpaine erillisiin paaluihin ja pilareihin
  - 4.4 Täydennykset betoninormeihin ja betonielementtinormeihin
    - 4.41 Teräksiä suojaava betonikerros



- 4.42 Pistekuorman jakaantumisleveys laatoissa
- 4.43 Pilarilaattarakenteet
- 4.44 Palkkirakenteet
- 4.5 Täydennykset jännitettyjä betonirakenteita koskeviin normeihin
- 4.6 Täydennykset teräsrakenteiden normeihin

### III Suunnitelma

- 1. Yleissuunnitelma
  - 1.1 Alustava suunnitelma
  - 1.2 Lopullinen suunnitelma
- 2. Rakennesuunnitelma
- 3. Suunnitelma-asiakirjat
  - 3.1 Piirustukset
    - 3.11 Piirustusten koot ja merkinnät
    - 3.12 Kartta ja pituusleikkaus
    - 3.13 Hyväksytty alustava yleispiirustus
    - 3.14 Yleispiirustus
    - 3.15 Rakennepiirustukset
      - 3.151 Teräsbetonirakenteen ja jännitetyn betonirakenteen rakennepiirustukset
      - 3.152 Teräsrakenteen rakennepiirustukset
      - 3.153 Puurakenteen rakennepiirustukset
      - 3.154 Perustuspiirustukset
      - 3.155 Teline- ja muottipiirustukset
      - 3.156 Koneistopiirustukset
    - 3.2 Laskelmat
      - 3.21 Laskelmien jäsentely
      - 3.22 Rakenneselostus
      - 3.23 Kuormitusselostus
      - 3.24 Mitoituslaskelmat
      - 3.25 Varmuustarkastelu
      - 3.26 Siirtymätarkastelu
      - 3.27 Yhteenveto laskelmien tuloksista
    - 3.3 Muut asiakirjat
      - 3.31 Alustavaan suunnitelmaan liittyvät asiakirjat
        - 3.311 Alustava kustannusarvio
        - 3.312 Alustava työaikataulu
        - 3.313 Siltapaikan vesistöselostus
        - 3.314 Sillan valokuva-asennelmat ja pienoismalli
      - 3.32 Lopulliseen suunnitelmaan liittyvät asiakirjat



- 3.321 Siltakohtainen työselitys
- 3.322 Massaluettelo
- 3.323 Kustannusarvio
- 3.33 Rakennesuunnitelmaan liittyvät asiakirjat
- 3.331 Betoniteräsluettelo
- 3.332 Rakenteliden alnemenekkiluettelo
- 3.333 Jännittämissuunnitelma
- 3.334 Asennussuunnitelma

#### IV Laskelmaohjeet

- 1. Laskelmien teoreettiset perusteet
  - 1.1 Voimasuureiden laskeminen
  - 1.2 Jännitystarkastelu
  - 1.3 Murtotarkastelu
  - 1.4 Vakavuustarkastelu
  - 1.5 Siirtymätarkastelu
- 2. Eri rakennusaineisiin liittyviä yleisiä laskelmaohjeita
  - 2.1 Yleistä
  - 2.2 Teräsbetonirakenteet
    - 2.21 Materiaalimomintisuudet
    - 2.22 Poikkileikkaussuureiden laskeminen
      - 2.221 Yleistä
      - 2.222 Massiiviset laatat
      - 2.223 Ontelolaatat
      - 2.224 Yksinkertaiset laatta- ja kotelopalkit
      - 2.225 Jatkuvat tasakorkeat laatta- ja kotelopalkit
      - 2.226 Viisteelliset laatta- ja kotelopalkit
    - 2.23 Laattapalkin ja kotelopalkin laatan tehollinen leveys
      - 2.231 Yleistä
      - 2.232 Laatan tehollinen leveys eri tapauksissa
      - 2.233 Momenttipinnan 0-kohdat tehollista leveyttä määrittäessä
    - 2.24 Taipumat
  - 2.3 Jännitetyt betonirakenteet
    - 2.31 Materiaalimomintisuudet
    - 2.32 Poikkileikkaussuureiden laskeminen
    - 2.33 Jänteiden voimat ja venymät
    - 2.34 Jännevoimasta aiheutuvat voimasuureet
    - 2.35 Jännitystarkastelu
    - 2.36 Halkeamavarmuustarkastelu
    - 2.37 Murtovarmuustarkastelu



- 2.38 Taipumat
- 2.4 Teräsrakenteet
- 2.41 Materiaalilominaisuudet
- 2.42 Poikkileikkaussuureiden laskeminen
- 2.43 Taivutettu ja puristettu sauva
- 2.431 Jännitystarkastelu sallittujen jännitysten avulla
- 2.4311 Sauvan taivutus poikkileikkauksen edullisessa suunnassa
- 2.432 Jännitystarkastelu varmuuskertoimien avulla
- 2.44 Vakavuustarkastelu
- 2.441 Nurjahdus
- 2.442 Kiepahdus
- 2.443 Lommahdus
- 2.4431 Reunaltaan vapaan rakenneosan lommahdus
- 2.4432 Neljältä sivulta tuetun rakenneosan lommahdus
- 2.4433 Puristussauvaan kuuluvan osan lommahdus
- 2.45 Väsytyslujuus
- 2.46 Liitosten mitoitus
- 2.47 Taipumat

### 3. Kuormitustapaukset (puuttuu)

- 4. Tukirakenteet
- 4.1 Perustukset
- 4.11 Maanvarainen perustus
- 4.111 Sallitut pohjarasitukset
- 4.112 Pohjapaineen jakautuminen
- 4.113 Kuormien resultantin paikka
- 4.114 Varmuus
- 4.115 Perustuksen siirtymät
- 4.12 Paalutus
- 4.121 Sallitut paalukuormat
- 4.122 Paaluperustuksen vakavuus
- 4.123 Paaluvoimien laskeminen
- 4.124 Perustuksen siirtymät
- 4.13 Peruslaatta
- 4.2 Maatuet ja välituet
- 4.21 Maanpaine
- 4.22 Pääliysrakenteen pituudenmuutosten vaikutus
- 4.3 Ankkurit ja vastapainot
- 4.31 Maanpaine
- 4.32 Varmuus



#### 4.33 Siirtymät

#### 5. Kannatinrakenteet

##### 5.1 Laattasillat

###### 5.11 Yleistä

###### 5.12 Ontelolaatat

###### 5.13 Vinokulmaiset laatat

###### 5.14 Paksuudeltaan muuttuvat laatat

###### 5.15 Pilarilaatat

###### 5.16 Laattakehä sillat

##### 5.2 Palkkisillat

###### 5.21 Palkkilarinat

###### 5.22 Kotelopalkkisillat

###### 5.23 Liittopalkkisillat

##### 5.3 Kaari- ja holvisillat

##### 5.4 Ristikkosillat

##### 5.5 Riippusillat

##### 5.6 Avattavat sillat

#### 6. Kansilaatat

##### 6.1 Teräsbetoniset kansilaatat

##### 6.2 Teräksiset kansilaatat

V Rakenteelliset ohjeet (puuttuu)



## II Suunnittelun perusteet

### 1. Maastotiedot

Siltapaikan maastotiedot perustuvat siltapaikkatutkimukseen ja vesistötutkimukseen, joka on tarpeen vesistö sillan ollessa kyseessä.

#### 1.1 Siltapaikan maastotutkimus

Siltapaikkatutkimuksen tulokset käsittävät tiedot siltapaikan maanpinnan korkeuksista, pohjaolosuhteista, olemassa olevista rakenteista, risteilevästä tiestä tai rautatiestä ja veden- tai pohjavedenpinnan korkeudesta tutkimushetkellä. Tulokset on esitetty siltapaikkaselostuksessa (sillantutkimusselostus), ja ne muodostuvat tavallisesti seuraavista osista:

- Siltapaikan kartta (1:200 tai 1:500), josta käyvät selville maasto riittävän laajalta alueelta tielinjan molemmin puolin, korkeuskiintopiste ja pohjatutkimuspisteet.
- Pituus- ja poikkileikkaukset (1:200/1:200 tai 1:100/1:100), joita otetaan tarpeeksi laajalta alueelta ja niin pienin välein, että maanpinnan korkeuden vaihtelut käyvät niistä riittävän yksityiskohtaisesti selville.

#### 1.2 Siltapaikan pohjatutkimus

- Pohjatutkimuksen tulokset, jotka käsittävät tavallisesti maaperän kairausdiagrammit ja maalajien määrityksen. Kairausdiagrammit ja maalajimerkinnot esitetään yleensä pituus- ja poikkileikkausten yhteydessä. Maalajien määrittämisen pohjana olevat maanäytteiden laboratoriotutkimusselostukset ovat erillisinä.

Tarpeen vaatiessa täydennetään pohjatutkimusta. Täydentävä tutkimus tehdään tavallisesti sillan alustavan suunnitelman valmistuttua, jolloin perustamistapa ja perustusten paikat jo on alustavasti määritetty.

Täydentäviin tutkimuksiin on varattava riittävästi aikaa, että nämä tutkimukset ja perustamistapaehdotukset ehditään laatia lopullisen suunnitelman laatimiseen mennessä.

#### 1.3 Siltapaikan vesistötutkimus

Vesistö sillan suunnittelussa välttämättömät vesistöä koskevat tiedot esitetään siltapaikan vesistöselostuksessa. Suoritettuun vesistötutkimukseen perustuvat vesistöselostuksessa seuraavat kohdat:



- Hydrologiset tekijät siltapaikan yläpuolella ja siltapaikalla
- Vesistön käyttö
- Vesistön käyttöä rajoittavat olemassa olevat sillat
- Vaatimukset vesistön käytön turvaamiseksi
- Sallitun padotuksen suuruus perusteluineen
- Kiintopiste ja sen korkeutta määrättäessä käytetty korkeusjärjestelmä

Lisäksi vesistöselostuksessa on siltaratkaisuun ja sen perusteluihin liittyvät kohdat, jotka nojautuvat vesistötutkimuksesta saataviin tietoihin ja edellyttävät sillan alustavan suunnitelman laatimista. Vesistöselostuksen täydentäminen näiltä kohdin kuuluu sillan alustavaan suunnitteluun.



## 2. Tiesuunnitelma

Sillan suunnittelussa tarvittavat tiesuunnitelmaa koskevat tiedot käyvät selville tiesuunnitelmaan kuuluvista asiakirjoista. Ne tiesuunnittelun vaiheet, joihin sillansuunnittelu yleensä liittyy, eritellään eri vaiheisiin kuuluvine asiakirjoinen jäljempänä.

### 2.1 Tien yleissuunnitelma

Tien yleissuunnitelma on tien suuntaa selvittävä yleiskatsauksellinen suunnitelma, joka sisältää maastolliset ja liikenneteknilliset näkökohdat huomioonottaen laadittuja teknillisiä ja taloudellisia perusteluja. Yleissuunnitelman tarkkuus riippuu yleensä siitä, onko kysymys kaava-alueesta vai vapaasta maaseudusta. Jos alueella on joko voimassa tai tekeillä asema- tai rakennuskaava, pyritään tien yleissuunnitelmassa sellaiseen tarkkuuteen, ettei sen perusteella määrättyä kaavan liikennealuetta tarvitsisi tiesuunnitelmaa laadittaessa muuttaa. Tien yleissuunnitelma on tarkoitettu käytettäväksi tiesuunnitelman sekä ko. alueen käyttösuunnitelman lähtökohtana. Koska sitä ei yleensä vahvisteta, ei sillä ole niitä oikeusvaikutuksia, jotka laki säättää tiesuunnitelmalle.

Tien yleissuunnitelmaan kuuluvista asiakirjoista ovat alustavaa siltasuunnitelmaa laadittaessa tarpeellisia seuraavat:

- Tiesuunnitelmaselostus
- Mitoitusesitys
- Yleissuunnitelmakartta (1:4000, kaava-alueella 1:2000 tai 1:1000)
- Pituusleikkaus
- Risteys- ja liittymäpiirustukset
- Mahdollisesti suoritettujen alustavien maaperätutkimusten tuloksista saatava selvitys
- Maininnat silta-, lautta- ja laivalaituripaikoista. Laajempaan vesioikeudelliseen käsittelyyn joutuvien siltojen osalta siltapaikkatutkimukset ja vesistöselostukset mahdollisine lausuntoineen.

Tien yleissuunnitelmassa on tien geometria ja pohja(olo)suhteet esitetty sillä tarkkuudella, että näiden tietojen perusteella on mahdollista laatia sillan alustava suunnitelma. Sillan alustava suunnitelma liittyy asiakirjana tien yleissuunnitelmaan.



## 2.2 Tiesuunnitelma

Tiesuunnitelma on yleisistä teistä annetun lain 3. luvun säännösten mukainen suunnitelma, jossa mm. tien suunta ja poikkileikkausmuoto on osoitettu siten, että tiealue voidaan suunnitelman perusteella tarvittaessa merkitä maastoon.

Tiesuunnitelma perustuu yleensä yleissuunnitelmaan, mutta saattaa tarvittaessa yksityiskohdissa poiketa siitä. Sitä laadittaessa pyritään osoittamaan tien rakenteellinen muoto riittävän tarkasti suunnitelman lainmukaista käsittelyä ja kustannusarvion laatimista silmällä pitäen.

Tiesuunnitelman oikeusvaikutuksista on säädetty yleisistä teistä annetussa laissa ja asetuksessa.

Tiesuunnitelmaan kuuluvista asiakirjoista tarvitaan sillansuunnittelussa seuraavat:

- Tiesuunnitelmaselostus
- Vahvistettu mitoitus
- Suunnitelmakartta (1:2000)
- Pituusleikkaus (1:2000/1:200)
- Tarvittavat poikkileikkaukset (1:100-1:200)
- Risteys- ja liittymäsuunnitelmat (kartta 1:2000, pituusleikkaus 1:2000/1:200)
- Maaperätutkimusasiakirjat
- Perustelevat liitteet ja piirrokset tarvittaessa (esim. perspektiivi- tai valokuvat)

Rinnan tiesuunnitelman kanssa laaditaan sillan suunnittelussa tarvittavat asiakirjat.

## 2.3 Yksityiskohtaiset suunnitelmat

Yksityiskohtaiset suunnitelmat täydentävät tiesuunnitelmaa ja selventävät rakenteellisia yksityiskohtia. Niihin kuuluvat piirustusten lisäksi tarpeelliset työselitykset. Yksityiskohtaiset suunnitelmat laaditaan niin tarkoin, että työ voidaan niiden perusteella suorittaa tai tarjota urakalla tehtäväksi.

Yksityiskohtaisiin suunnitelmiin kuuluvat seuraavat asiakirjat, joilla on merkitystä sillan suunnittelun kannalta:

- Tienpinnan geometria sillan kohdalla riittävän lyhyin välein. Tien kaarevuussteen, sivukaltevuuden tai leveyden muuttuessa sillan kohdalla käytetään tarvittaessa 5-2 m:n poikkileikkausväliä.
- Perustamis- ja pohjavahvistussuunnitelma



- Valaistussuunnitelma
- Puhelin-, vesi- ym. johtosuunnitelmat.
- Kuivatussuunnitelma
- Mittaussuunnitelma



3. Sillan päämittoja ja ominaisuuksia koskevat vaatimukset

3.1 Sillan kantavuus

Sillan kantavuutta koskevat vaatimukset antaa tie- ja vesirakennushallitus. Yksittäistapauksissa täydennetään tarvittaessa annettuja yleisohjeita.

3.2 Aukkomitat

Sillan aukkojen vapaan leveyden ja alikulkukorkeuden vahvistaa risteyssiltojen ja alikulkusiltojen osalta tie- ja vesirakennushallituksen suunnitteluosasto ja ylikulkusiltojen osalta rautatiehallituksen rataosasto. Vesistösiltojen aukkomitat vahvistaa yleensä vesioikeus päätöksellään. Niissä tapauksissa, jotka eivät edellytä vesioikeuden käsittelyä, vahvistaa aukkomitat tie- ja vesirakennushallitus nojautuen siltapaikan vesistötutkimukseen sekä vesihallituksen asianomaisen piirin mahdollisesti antamaan lausuntoon.

3.3 Sillan leveys ja vapaa korkeus

Sillan leveys määräytyy tiesuunnitelmaan kuuluvien tien poikkileikkausten perusteella ja sen vahvistaa tie- ja vesirakennushallituksen suunnitteluosasto. Leveyttä määrättäessä otetaan huomioon tien kaarteessa mahdollisesti aiheutuva lisäys. Vaiheittain rakennettaessa vahvistetaan sillan kussakin vaiheessa rakennettavan osan leveys. Vapaan korkeuden määrää tie- ja vesirakennushallituksen suunnitteluosasto liikenteen vaatimusten perusteella.

3.4 Siltaan asetettavat johdot ja laitteet

Siltaan asetettavia puhelin-, sähkö-, vesi-, viemäri- ja muita johtoja tai laitteita varten varattavasta tilasta antaa tie- ja vesirakennushallitus kussakin tapauksessa erikseen ohjeet.

3.5 Muut vaatimukset

Sillan valaistuksesta, vesien poisjohtamisesta sillalta, sillan huolto- ja tarkastusmahdollisuuksista, johteiden ja opasteiden sijoituksesta, panostiloista, vesioikeuden päätöksen mukaisten uittolaitteiden kiinnityksestä, avattavan sillan avausajasta ja käyttöhuoneen sijoituksesta määrää tie- ja vesirakennushallitus kussakin tapauksessa erikseen.



#### 4. Rakenteita koskevat määräykset

##### 4.1 Normit ja standardit

Sillan rakenteiden suunnittelussa noudatetaan voimassa olevia Kuormitusnormeja, Yhteispohjoismaisia kuormitusmääräyksiä, Pohjarakennuksen normeja, Betoni- ja teräsbetonirakenteita koskevia määräyksiä, Jännitettyjen betonirakenteiden normeja, Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita, Hitsiliitosten laskentaohjeita ja Puurakenteiden normeja ottaen huomioon seuraavassa ja eri rakennusaineita koskevissa kohdissa esitettävät täydennykset ja sovellutusohjeet.

##### 4.2 Täydennykset kuormitusnormeihin

###### 4.21 Tavallisen kuormituksen vähennyskertoimet

Tavalliseen kuormitukseen kuuluvien eri lyhytaikaisten kuormien yhdistämisessä sovellettavia vähennyskertoimia saa käyttää ainoastaan, kun kuormat ovat täysin riippumattomia toisistaan. Tapauksista, joissa kuormat eivät ole riippumattomia toisistaan ja joissa ei siis saa soveltaa vähennyskertoimia, voidaan mainita esimerkkeinä seuraavat:

- ajoneuvokuorma ja siitä aiheutuva vaakasuora lisäkuorma
- ajoneuvokuorma ja ajoneuvoon kohdistuva tuulikuorma.

###### 4.22 Tukien siirtyminen

Tukien epätasainen siirtyminen on määritettävä geoteknillisen selvityksen perusteella ja on siitä aiheutuvat lisärasitukset otettava huomioon laskelmissa. Mikäli tällaista selvitystä ei suoriteta on epätasainen siirtymä pysyvien kuormien suunnassa oletettava väh. 1 cm:n suuruiseksi, jonka suuruinen siirtymä voi syntyä hetkessä. Hitaasti syntyvien siirtymien aiheuttamia rasituksia laskettaessa otetaan betonisilloissa hiipuman vaikutus huomioon kohdan IV 2.21 mukaan. Epätasaisella siirtymällä tarkoitetaan tässä tukien siirtymien keskinäistä eroa. Laskelmissa tutkitaan sellaiset tukien epätasaisten siirtymien yhdistelmät, jotka aiheuttavat rakenteeseen suurimmat lisärasitukset. Kalliolle perustettaessa katsotaan tuet liikkumattomiksi, mikäli niiden varmuus liukumista vastaan on riittävä.

###### 4.23 Avattavan sillan sysäykset

Siltaa avattaessa ja suljettaessa esiintyvistä epätasaisesta liikkeestä aiheutuvan sysäyksen suuruudeksi otaksutaan kentittäin 10 % rakenteen painosta. Sysäyksen oletetaan vaikuttavan tukirakenteisiin saman suuruisena, mutta vastakkaissuuntaisena. Poikkeuksellisenä ylikuormituksena on otettava huomioon käyttö-



häiriöistä aiheutuvat törmäykset puskureihin. Käyttöhäiriöistä johtuen määrätyillä siltatyypeillä saattaa siltaa avattaessa tai suljettaessa esiintyä tilanteita, joissa sillan jarrutus ei toimi, jolloin silta voi kulkea täydellä nopeudella kiinni- tai aukiasentoon. Esimerkiksi kääntösilloissa on silta voitava pysäyttää sellaisilla laitteilla, jotka ottavat sillan liike-energian. Laitteet on valittava siten, että törmäyksessä syntyvien voimien vaikuttaessa sillalla on tarpeellinen varmuus jännityksiin ja vakavuuteen nähden.

#### 4.24 Avattavan sillan kuormat

Kuormitusnormeissa annetaan tuulikuorman suuruus sillan rakenteiden osalta sillan ollessa suljettuna. Sillan ollessa avattuna käytetään 75 % näistä arvoista. Koneistoja mitoittaessa on otettava tuulikuormaksi  $p = 0,50 \text{ kN/m}^2$ , jolla kuormalla silta on voitava avata. Koneiston on pidettävä silta paikoillaan tuulikuorman arvolla  $p=0,95 \text{ kN/m}^2$ . Lumikuorman suuruudeksi oletetaan kentittäin läppäsilloissa  $0,25 \text{ kN/m}^2$  ja kääntösilloissa  $0,15 \text{ kN/m}^2$ .

Läppäsilloissa tulee olla sillan tasapainottamisen säätömahdollisuus, joka aikaan-saadaan rakenteeseen sopivasti sijoitetuilla irtopainoilla. Irtopainojen määrän tulee vastata sillan päällysteen kulumisen ja uudelleen päällystämisen vaikutusta, jolloin laskelmissa voidaan käyttää seuraavia arvoja:

Päällysteen kuluminen  $0,15 \text{ kN/m}^2$

Päällysteen painon lisäys  $0,10 \text{ ''}$

#### 4.25 Lauttojen ja lauttalaiturien ajoneuvokuorma

Tavallinen ajoneuvokuorma muodostuu ajokaistoittain liitteessä II.1 esitetyn kaavion mukaisista  $140 \text{ kN}$  suuruisista akselikuormista, joita sijoitetaan lautan kannelle, lauttalaiturille tai kalturille yksi tai useampia rinnakkain siten, että kuormitusasennosta tulee määräävä. Lisäksi kuuluu kuormitukseen liitteen II.1 mukainen erillinen kaksiakselinen teli, joka yksinään voi sijaita missä kohdassa tahansa lautan kannella tai laiturilla. Telin akselikuormat ovat  $140 \text{ kN}$  ja akseliväli  $1,20 \text{ m}$ . Sysäyskertoimen suuruus on 1.



#### 4.26 Vesiliikenteen aiheuttamat törmäyskuormat

Vesiliikenteen silta- ja lauttalaiturirakenteisiin aiheuttamat törmäysvaikutukset määritetään kussakin tapauksessa erikseen.

#### 4.3 Täydennykset pohjarakennusnormeihin

##### 4.31 Aktiivinen maanpaine

Myötäävään, jäykkään rakenteeseen kohdistuva maanpaine voidaan kitkamaassa määrittää klassillisen maanpaineteorian mukaisena aktiivisena maanpaineena. Myötäävä, jäykkä rakenne on esim. maan varaan tai paaluille perustettu maatuki. Jos rakenteeseen liittyvä maamassa on alttiina liikenteen aiheuttamalle tärinälle, korotetaan aktiivista maanpainetta 25 %. Lisäyksen katsotaan kuuluvan tavalliseen kuormitukseen. Sillan maatukeen penkereestä aiheutuvaa maanpainetta laskettaessa voidaan käyttää pengertäytteen tilavuuspainona  $\gamma = 2200 \text{ kg/m}^3$  ja kitkakulmana  $\phi = 36^\circ$ , ellei tarkempia tietoja ole käytettävissä.

Välitukiin kohdistuva maanpaine lasketaan käyttäen tilavuuspainolle ja kitkakulmalle arvoja, jotka vastaavat käytettävää materiaalia ja tiiveyttä.

##### 4.32 Lepopaine

Myötäämätöntä, jäykkää rakennetta vastaan kohdistuva maanpaine kitkamaassa lasketaan lepopaineena, jonka oletetaan olevan 50 % aktiivipainetta suuremman. Lepopaineeseen ei sovelleta tärinästä aiheutuvaa lisäystä. Myötäämätön, jäykkä rakenne on esim. kallioon jäykästi ankkuroitu maatuki, tai maatuen siipimuuri. Mikäli rakenne pakotetaan siirtymään maamassaa vastaan, on se mitoitettava lepopainetta suuremmalle maanpaineelle. Tällainen tapaus on esimerkiksi laattakehän kohdalla kysymyksessä. (Kohta IV 5.16)

##### 4.33 Passiivinen maanpaine

Passiivinen maanpaine käsitellään pohjarakennuksen normien mukaan.

##### 4.34 Maanpaineen suunta

Kitkamaassa oletetaan aktiivipaineen suuntautuvan vinosti alaspäin siten, maanpaineen suunnan ja rakenteen pinnan normaalin välinen kulma  $\delta = \frac{2}{3} \phi$  ( $\phi$  on maan kitkakulma). Lepopaineen oletetaan vaikuttavan kohtisuoraan pintaa vastaan. Passiivipaineen voidaan yleensä otaksua suuntautuvan vinosti ylöspäin siten,



että  $\delta = \frac{1}{2} \phi$ . Mikäli maamassa on alttiina liikenteestä aiheutuvalle tärinälle, on rakenne tarkistettava myös pintaa vastaan kohtisuoralle maanpaineelle.

#### 4.35 Maanpaine koheesiomaassa

Koheesiomaassa määrätään maanpaineen suuruus kussakin tapauksessa pohjatutkimuksen perusteella.

#### 4.36 Maanpaine erillisiin paaluihin ja pilareihin

Erillisiin pilareihin ja paaluihin kohdistuvan maanpaineen oletetaan vaikuttavan pilarin tai paalun kolminkertaiselle leveydelle, kuitenkin niin, että jos pilareita tai paaluja useampia, maanpaineen lasketaan vaikuttavan enintään rakenteen kokonaisleveydelle.

#### 4.4 Täydennykset betoninormeihin ja betonielementtinormeihin

##### 4.41 Teräksiä suojaava betonikerros

Betonielementeissä on yleensä käytettävä betoninormien mukaisia suojaavan betonikerroksen paksuuksia, erikseen määrättäviä poikkeuksia lukuunottamatta.

##### 4.42 Pistekuorman jakaantumisleveys laatoissa

Betoninormeissa esitettyjä jakaantumisleveyksiä ei käytetä siltalaattoja laskettaessa, vaan laatat lasketaan laattateorian mukaan.

##### 4.43 Pilarilaattarakenteet

Betoninormeissa esitettyjä laskemisohteja ei käytetä siltalaattojen suunnittelussa, vaan laatat lasketaan laattateorian mukaan pilarituettuina laattoina.

##### 4.44 Palkkirakenteet

Laattapalkin laipan toimivan leveyden arvot määrätään laskelmaohjeiden kohdan IV 2.22 mukaan, eikä betoninormeissa esitettyjä arvoja ole syytä käyttää siltarakenteissa.

#### 4.5 Täydennykset jännitetyillä betonirakenteita koskeviin normeihin



### III Suunnitelma

#### 1. Yleissuunnitelma

Yleissuunnitelman laatiminen jakautuu kahteen vaiheeseen:

- alustava suunnitelma
- lopullinen suunnitelma

Alustava suunnitelma muodostaa pohjan siltasuunnitelman vesioikeudellista tai muuta hallinnollista käsittelyä sekä teknillistaloudellisia vertailuja ja sillan ulkonäköseikkojen arvostelemista varten.

Lopullinen suunnitelma on perustana siltasuunnitelman toteuttamiseen tähtääviä toimenpiteitä varten. Sen perusteella laaditaan sillan rakennesuunnitelma.

##### 1.1 Alustava suunnitelma

Alustavan suunnitelman laatimisessa on oleellista siltatyypin valinta ottaen huomioon sillalle asetetut vaatimukset ja siltapaikan olosuhteet. Erilaisia ratkaisuja vertaillaan teknillisten, taloudellisten ja ulkonäköön liittyvien näkökohtien perusteella käyttäen apuna luonnospiirustuksia valokuvia ja perspektiivikuvia, sekä alustavia kustannusarvioita. Vaativammissa kohteissa voidaan sillan sovittamiseksi maastoon käyttää hyväksi myös pienoismalleja.

Alustavan suunnitelman laatimista varten tarvitaan tavallisesti geoteknillisen asiantuntijan laatima lausunto, joka huonojen perustamisolosuhteiden ollessa kysymyksessä on välttämätön. Lausunto käsittää:

- Ehdotukset sillan mahdollisista perustamistavoista.
- Maapohjan kantavuuden ja odotettavissa olevien painumien arvioiminen, ehdotus sallituista pohjapaineista ja / tai arvio paalujen tunkeutumis-syvyydestä.
- Ehdotus siltapenkereiden ja keilojen perustamisesta.

Toisinaan perustamistapaehdotuksen korvaa geoteknillisen asiantuntijan ja siltasuunnittelijan välinen neuvottelu.

Alustava suunnitelma käsittää seuraavat asiakirjat:

- kartta ja pituusleikkaus
- alustava yleispiirustus
- alustava massaluettelo ja kustannusarvio
- tarvittaessa alustava työaikataulu

Kartassa ja pituusleikkauksessa esitetään tarpeelliset tiedot maastosta, maanomistussuhteista, tielinjan ja uoman kulusta, sekä tien tasauksesta ja selvittää sillan asema maastoon ja tielinjaan nähden.



Alustavasta yleispiirustuksesta käyvät selville siltapaikan maasto- ja pohjasuhteet, vesipintojen korkeudet, kiintopisteet sekä sillan asema, päämitat, siltatyyppe, perustamistapa ja pääasiallisin rakennusaine. Lisäksi alustavassa yleispiirustuksessa esitetään sillan alta kulkevalle liikenteelle varattu vapaa tila sekä tarvittaessa perkauksen poikkileikkaus. Alustava kustannusarvio laaditaan alustavan yleispiirustuksen perusteella.

Vesistö sillan alustavan suunnittelun yhteyteen kuuluu vesistöselostuksen täydentäminen niiltä kohdista, jotka liittyvät siltaratkaisuun ja sen perusteluihin.

## 1.2 Lopullinen suunnitelma

Lopullinen suunnitelma pohjautuu hallinnollisessa käsittelyssä hyväksyttyyn alustavaan suunnitelmaan. Poikkeamat yksityiskohdissa ovat toisinaan aiheellisia.

Vahvistetut aukkomitat edustavat vähimmäismittoja, joiden suurentaminen saattaa joskus olla teknillisistä, taloudellisista tai ulkonäköön liittyvistä syistä tarkoituksenmukaista lopullisen suunnitelman laatimisen yhteydessä. Mikäli sillan suunnittelun kannalta tarvitaan perustamiseen liittyviä lisäselvityksiä, siltasuunnittelija on velvollinen pyytämään täydentävää selvitystä.

Lopullinen suunnitelma käsittää seuraavat asiakirjat:

- yleispiirustus
- tarvittaessa siltakohtainen työselitys
- massaluettelo ja kustannusarvio
- tarvittaessa työaikataulu

Yleispiirustuksesta käyvät selville siltapaikan maasto- ja pohjasuhteet, vesipintojen korkeudet ja korkeuskiintopiste sekä sillan asema, päämitat, siltatyyppe, perustamistapa, rakennusaineet, tärkeimmät rakennemitat, päällysteet, vesioikeuden päätöksen mukaisten uittolaitteiden kiinnitys ja panostilat. Sillan perustusten merkitseminen maastoon tulee voida suorittaa yleispiirustuksessa annettujen mittojen ja korkeuksien avulla. Rakennemitat esitetään sillä tarkkuudella, että rakennesuunnitelman laatiminen käy mahdolliseksi niiden perusteella.

Siltakohtaisessa työselityksessä annetaan piirustuksia ja yleisiä ohjeita täydentäviä materiaalivaatimuksia, mittatoleransseja, työtapaa ja työjärjestystä koskevia ohjeita.

Kustannusarvio ja massaluettelo laaditaan yleispiirustuksen ja rakennepiirustusten perusteella noudattaen hyväksyttyä suoriteryhmittelyä.



## 2. Rakennesuunnitelma

Rakennesuunnitelma tehdään yleissuunnitelmaa perustana käyttäen. Rakennesuunnitelma voidaan joissakin tapauksissa korvata kokonaan tai osittain TVH:n tyyppipiirustuksilla.

Rakennesuunnitelma käsittää:

- lujuuslaskelmat
- rakennepiirustukset
- rakenteiden ainemenekki- ja osaluettelot

Lujuuslaskelmat suoritetaan voimassa olevia ohjeita ja määräyksiä sekä jäljempänä esitettyjä laskelmaohjeita noudattaen. Niistä tulee ilmetä tehdyt otaksumat, käytetyt teoriat ja tulokset havainnollisessa muodossa siten, että laskelmien tarkastaminen on mahdollista.

Rakennepiirustuksissa esitetään rakenteiden rakennusaineet, muoto, mitat, työstö ja osien kokoonpano sekä tarvittavat työtapaa ja työjärjestystä koskevat ohjeet.

Rakennepiirustusten täydennykseksi ja kustannusten arvioimista varten laaditaan rakenneosittain ainemenekki- ja osaluettelot, joista käy selville rakenteisiin käytettävien rakennusaineiden laatu sekä määrä tai osien lukumäärä, mitat ja paino.



### 3. Suunnitelma-asiakirjat

#### 3.1 Piirustukset

##### 3.11 Piirustusten koot ja merkinnät

Piirustuksissa käytetään kokoja A0, A1, A2, A3, A4 tai sellaisia A4:n monikertoja jotka täyttävät liitteessä III.1 annetut piirustusten suurinta kokoa koskevat vaatimukset.

Piirustukset tehdään hyvälle piirustusmateriaalille sellaisia piirustusvälineitä käyttäen, että niistä saadaan terävät kopiot. Piirustukset luovutetaan TVH:lle alkuperäisinä tai kuultokopioina.

Piirustusmerkinnöissä ja esitystavassa noudatetaan voimassaolevia Rakennepiirustusohjeita.

Piirustuksien oikeaan alanurkkaan sijoitetaan nimiö (otsikkotaulu).

Otsikossa tulee esittää seuraavat asiat:

- sillan nimi ja sijaintikunta (sijaintikunnat sillan sijaitessa kuntien rajalla)
- tie ja tieosa
- siltatyyppi
- jännemitat tai vapaa-aukot, hyödyllinen leveys
- suunnittelukuormat
- piirustuksen laji ja sisältö
- piirustuksen numero
- laskelmien numero
- mittakaavat
- suunnittelutoimiston nimi ja kotipaikkakunta
- suunnittelijan allekirjoitus ja päiväys

TVH:n tarkastus- ja hyväksymismerkintöjä varten varataan tila otsikkotaulun yläpuolelle tai viereen.

Piirustusten numeroinnissa noudatetaan liitteessä III.2 annettuja ohjeita. Piirustuksen numeron ensimmäisen osan muodostava siltasuunnitelman numero saadaan siltaosaston suunnitelmaluettelosta suunnittelutyön alkaessa. Laskelmien numero saadaan siltaosaston laskelmaluettelosta.

##### 3.12 Kartta ja pituusleikkaus

Kartta esitetään yleensä mittakaavassa 1:2000 ja pituusleikkaus mittakaavassa 1:2000/1:200. Kartta ja pituusleikkaus saadaan tiesuunnitelman asiakirjoista otteina, joihin täydennetään suunniteltu silta keiloineen ja penkereineen.



Kartasta ja pituusleikkauksesta tulee käydä selville:

- tieosa ja paalutusnumerot
- tien kaarresuhteet ja tasaus
- kiintopisteen sijainti, korkeus ja korkeusjärjestelmä
- pohjoisnuoli ja veden virtaussuunta
- maanpinnan korkeudet
- vedenpinnan korkeudet HW, MW, NW, purjehdus- ja uittokauden HW sekä tutkimuspäivän W
- tilojen rajat, omistajat ja maarekisterinumerot sekä vesialueen rajat
- rakennukset ja muut rakenteet sekä sähkö-, vesi- ym. johdot
- suunniteltu silta keiloinen ja penkereinen sekä kartassa että pituusleikkauksessa
- sillan kokonaispituus sekä sillan (keskuksen ja) päätepisteiden paalulukemat.

### 3.13 Hyväksytty alustava yleispiirustus

Alustavassa yleispiirustuksessa esitetään sillan sivukuva, tasokuva ja tarpeellinen määrä poikkileikkauksia. Mikäli tielinja ja ylitettävä väylä eivät leikkaa toisiaan kohtisuorasti, esitetään lisäksi väylää vastaan kohtisuora sivukuva. Avattava silta esitetään sivukuvassa myös avattuna. Mittakaavana käytetään 1:50, 1:100, 1:200 tai 1:500. Poikkileikkauksia ei kuitenkaan piirretä pienemmän mittakaavaan kuin 1:200.

Alustavasta yleispiirustuksesta tulee käydä selville:

- tieosan päätepisteet suuntanuolin osoitettuina, tien paalutus paalunumeroiden kasvusuunta vasemmalta oikealle, pohjoisnuoli ja veden virtaussuunta
- kiintopisteen sijainti, korkeus ja korkeusjärjestelmä
- maanpinnan korkeudet tien keskilinjalla ja tarvittaessa sillan reunoilla, maa-lajit ja maakerrostumien rajat, jos ne tunnetaan
- vedenpinnan korkeudet HW, MW, NW, purjehdus- ja uittokauden HW sekä tutkimuspäivän W
- sillan kohdalla olemassa olevat rakenteet
- tien kaarresuhteet ja tasaus sillan kohdalla, tielinjan ja risteävän väylän keskilinjan leikkauspisteen paalulukemat ja risteyskulma
- sillan jännemitat, vapaa-aukot, vapaa alikuukorkeus, vapaa-aukkoja rajoittavien rakenteiden määrittävät leveys- ja korkeusmitat sekä sillan hyödyllinen leveys
- sillan perustamistapa
- sillan pääosien rakennusaine
- suunnitellun perkauksen poikkileikkaus



### 3.14 Yleispiirustus

Yleispiirustuksessa esitetään sillan sivukuva, tasokuva ja tarpeellinen määrä poikkileikkauksia. Avattava silta esitetään sivukuvassa myös avattuna. Mittakaavana käytetään 1:50, 1:100, 1:200 tai 1:500. Poikkileikkauksia ei kuitenkaan piirretä pienempään mittakaavaan kuin 1:200.

Yleispiirustuksesta tulee käydä selville:

- tieosan päätepiisteet suuntanuolin osoitettuina, tien paalutus paalunumeroiden kasvusuunta vasemmalta oikealle, pohjoisnuoli ja veden virtaussuunta
- kiintopisteen sijainti, korkeus ja korkeusjärjestelmä
- maanpinnan korkeudet tien keskilinjalla ja tarvittaessa sillan reunoilla, maa-lajit sekä maakerrostumien rajat, jos ne tunnetaan
- vedenpinnan korkeudet HW, MW, NW, purjehdus- ja uittokauden HW ja tutkimuspäi-vän W
- sillan kohdalla olemassa olevat rakenteet
- tien kaarresuhteet ja tasaus sillan kohdalla, tielinjan ja risteävän väylän keskilinnan leikkauspisteen paalulukemat ja risteyskulma
- sillan kokonaispituus, jännemitat, vapaa-aukot, vapaa alikulukorkeus, vapaa-aukkoja rajoittavien rakenteiden määräävät leveys- ja korkeusmitat sekä pääl-lysrakenteen alareunan korkeudet laakeriviivojen kohdalla
- vesioikeuden päätöksen mukaiset aukkovaatimukset tarpeen mukaan
- hyödyllinen leveys, ajoradan, jalka- ja polkupyöräteiden, välikaistojen, pien-tareiden leveydet ja sivukaltevuudet
- sillan pääosien rakennusaine, päällystekerrokset ja niiden paksuudet
- perustamistapa, perustusten paikat, mitat ja korkeudet sekä paalujen kalte-vuudet ja arvioidut pituudet
- eri perustusten suurimmat pohjarasitukset tai paalukuormat
- keilojen ja luiskien kaltevuudet ja verhoilu
- kaidejako, pintavesien viemärointi, valaistuslaitteet, johdot yms.
- luettelo suunnitelmaan kuuluvista piirustuksista sekä vesioikeuden päätöksen numero.

### 3.15 Rakennepiirustukset

#### 3.151 Teräsbetonirakenteen ja jännitetyn betonirakenteen rakennepiirustukset

Teräsbetonirakenteen ja jännitetyn betonirakenteen muoto-, raudoitus- ja jänne-piirustuksissa esitetään rakenteen sivukuva ja tasokuva sekä tarvittavat pituus-, poikki- ja vaakaleikkaukset. Mittakaavoina käytetään 1:20, 1:50 tai 1:100.

Yksityiskohdat piirretään mittakaavaan 1:1, 1:2, 1:5 tai 1:10.



Muotopiirustuksesta tulee käydä selville:

- rakenteen muoto kohotuksineen ja mitat
- betonin laatu ja mahdolliset lisäaineet
- suunnitelman edellyttämät työsaumat ja tarvittaessa valujärjestys
- betoniin kiinnivalettavat osat kuten liikuntasaumot, syöksytorvet tms.
- myöhemmin asennettavia osia kuten laakereita, ankkureita, kaiteita tms. var-  
ten jätettävät varaukset
- betonipintoihin tulevat eristykset, verhoukset ja päällysteet

Raudoituspaiirustuksessa esitetään betoniterästen tunnus, niiden sijoitus raken-  
teeseen, lukumäärät, halkaisijat, jakovälit, taivutusmitat ja katkaisupituudet.  
Taivutettujen pääterästen ja selvyiden vaatiessa myös muiden terästen taivutus-  
mitat annetaan esittäen teräkset rakenteesta ulosvedettyinä. Taivutusmitat voi-  
daan em. esitystavan sijasta antaa erillisessä betoniteräsluettelossa, mutta  
tällöin tulee yksinomaan piirustuksestakin käydä selville rakenteen rauditus.

Jännepiirustuksessa esitetään jänneterästen tunnus, jänneiden lukumäärät, si-  
jainti, pituudet ja nimellinen jännitysvoima sekä rakenteen määräävissä pisteis-  
sä tarvittavat kokonaisjännitysvoima, kun kaikkien jännityshäviöiden oletetaan  
tapahtuneen. Lisäksi tulee jännepiirustuksesta käydä selville ankkurien si-  
jainti, suunnat ja keskinäiset välit.

### 3.152 Teräsrakenteen rakennepiirustukset

Teräsrakenteen yleispiirustus piirretään mittakaavaan 1:50, 1:100 tai 1:200,  
kokoonpanopiirustukset mittakaavaan 1:10 tai 1:20 ja osapiirustukset mittakaa-  
vaan 1:10 tai 1:20. Yksityiskohtia esitettäessä käytetään mittakaavana 1:1,  
1:2, 1:5 tai 1:10.

Teräsrakenteen yleispiirustuksessa esitetään rakenteen muoto ja kokoonpano asen-  
nusosista. Piirustuksesta tulee käydä selville:

- rakenteen päämitat mittatoleransseineen
- rakenteelle asennettaessa annettava kohotus
- rakenneosat ja niiden muoto
- asennusosat
- jatkosten paikat
- laakerien asento asennettaessa
- luettelo kokoonpanopiirustuksista



Kokoonpanopiirustuksessa esitetään rakenneosan kokoonpano osista. Piirustuksesta tulee käydä selville:

- rakenneosan päämitat mittatoleransseineen
- osien numerot ja päämitat
- osien toisiinsa liittäminen, tarvittaessa liittämisyjärjestys
- liitokset mittoineen
- osaluettelo

Teräsrakenteen kokoonpanopiirustukseen liittyvässä osaluettelossa esitetään kunkin osan numero, lukumäärä, mitat, kappalepaino, yhteispaino, lujuus- ja laatuokka sekä kaikkien osien yhteispaino. Luetteloon varataan huomautuksia varten sarake, jossa voidaan esim. esittää kaaviopiirroksin yksinkertaisten osien mitat. Osien painot lasketaan nettopainoina, jolloin otetaan huomioon muut vähennykset paitsi niitin- ja pultinreiät sekä hitsien railot. Osaluettelo esittää kokoonpanopiirustuksessa oikeassa reunassa osien numeroiden kasvaessa alhaalta ylöspäin. Osaluetteloa tulee voida jatkaa yläreunastaan. Osien numerointi esitetään rakenneosittain.

Osapiirustuksissa esitetään osien aine, mitat, työstö ja numero. Osien mittatoleranssit tulee antaa, mikäli niillä on merkitystä osien kokoonpanon kannalta.

Mikäli rakenne asennetaan pienemmissä tai suuremmissa osissa kuin mitä kokoonpanopiirustuksissa on esitetty, on lisäksi laadittava asennusosan kokoonpanopiirustus, jossa esitetään:

- asennusosan kokoonpano rakenneosista
- asennusosan päämitat
- asennusosaan kuuluvat osat tunnuksineen ja painoineen
- asennusosan kokonaispainot
- asennusosien liittäminen toisiinsa

### 3.153 Puurakenteen rakennepiirustukset

Puurakenteen rakennepiirustukset piirretään mittakaavaan 1:20 tai 1:50. Liitokset esitetään mittakaavassa 1:5, 1:10 tai 1:20 ja rakennekaavio (tikkupiirustus) tarvittaessa mittakaavassa 1:100 tai 1:200.

Rakennepiirustuksesta tulee käydä selville:

- rakenteen päämitat
- rakenteelle asennettaessa annettava kohotus
- osien mitat
- puun lujuus- ja kosteusluokka
- puun kyllästysaine- tai pintakäsittely
- liittimien rakenne, laatu ja sijainti



### 3.154 Perustuspiirustukset

Perustukset esitetään tarvittaessa alusrakenteen rakennepiirustuksista erillisessä perustuspiirustuksessa. Piirustuksessa tulee olla tasokuva, tarpeelliset pituus- ja poikkileikkaukset sekä perustusta koskeva selitys. Mittakaavana käytetään 1:20, 1:50 tai 1:100.

Paalutuspiirustuksesta tulee käydä selville:

- paalujen lukumäärä, koko ja materiaali
- paalun tyyppi piirustuksen tunnus
- paalujatkosten tullessa kysymykseen jatkostyyppi ja sijoitus
- peruslaatan mitat sekä ylä- ja alapinnan korkeudet
- paalujen sijainti paaluanturan alapinnan tasossa
- paalujen kaltevuudet ja kallistussuunnat
- paalujen kiinnityspituus laattaan
- vedenpinnan korkeus NW puupaaluja käytettäessä
- paaluvoiman ääriarvot

Mikäli paalusta tai paalujatkoksesta ei ole käytettävissä tyyppi piirustusta, esitetään ne erillisissä piirustuksissa noudattaen rakennepiirustuksista edellä annettuja ohjeita.

### 3.155 Teline- ja muottipiirustukset

Teline- ja muottipiirustukset laaditaan noudattaen edellä teräs- ja puurakenteiden piirustuksista annettuja ohjeita. Piirustuksiin tulee merkitä telineille annettava kohotus, työsaumojen paikat ja betonointijärjestys.

### 3.156 Koneistopiirustukset

Koneistopiirustukset laaditaan koneenpiirustusstandardien mukaan.



### 3.2 Laskelmat

#### 3.21 Laskelmien sisältö

Laskelmat jäsennellään seuraavasti:

##### A Johdanto-osa

- rakenneselostus
- kuormitusselostus

##### B Varsinaiset lujuuslaskelmat rakenneosittain:

- mitoituslaskelmat tai selvitys siitä, miten rakennemitat on saatu
- varmuustarkastelu
- siirtymätarkastelu
- muut mahdolliset laskelmat, kuten asennuslaskelmat, telinelaskelmat jms. kukin omalla nimikkeellään.

##### C Yhteenveto laskelmien tuloksista:

Laskelmien lopussa esitetään yhteenveto taulukkomuodossa.

#### 3.22 Rakenneselostus

Sillan rakenneselostuksessa esitetään:

- siltatyypin ja päämitat kaaviokuvien havainnollistettuna
- rakennusaineet ja rakennemitat pääpiirteittäin
- perustamistapa ja tukirakenteet
- laskelmia varten tehdyt oletukset eri rakenneosien ja niiden liitosten jäykkyyksinäisyyksistä

#### 3.23 Kuormitusselostus

Laskelmissa selostetaan kaikki siltaan vaikuttavat sekä pitkäaikaiset- että lyhytaikaiset kuormat. Erikseen on mainittava mitkä kuormat esiintyvät yksittäin ja mitkä oletetaan vaikuttavan samanaikaisesti. Kuormiin tehty lisäykset ja vähennykset on mainittava. Lisäksi on mainittava otaksutut tukien painumat ja siirtymät sekä pitkäaikaismuodonmuutosten ja lämpötilavaihtelujen oletettu vaikutus.

Kuormitusselostuksen yhteydessä on osoitettava kunkin ajokaistan paikka sillalla. Samoin on osoitettava ne paikat, joihin ajoneuvot tai muut kuormat voivat sillalla joutua sekä mainittava näiden kuormien suuruus kussakin tapauksessa.

#### 3.24 Mitoituslaskelmat

Mitoituslaskelmilla selvitetään rakenteen eri osien mitat varmuustarkastelua varten. Suunnittelun tässä vaiheessa tutkitaan eri rakennevaihtoehtoja edullisimman ratkaisun löytämiseksi. Mitoituslaskelmat suoritetaan yleensä likimääräisiä laskentamenetelmiä käyttäen. Laskentamenetelmiä valittaessa on kuitenkin



otettava huomioon myös suunnittelijan kokeneisuus. Epätavallisia siltarakenteita suunniteltaessa on käytettävä tarkempia mitoitusmenetelmiä. Mitoituslaskelmia varten tarvittava sillan omapaino voidaan parhaiten arvioida suorittamalla vertailuja jo rakennettuihin siltoihin. Myös kirjallisuudesta löytyy tutkimuksia eri siltatyypin painoista. Eräissä tapauksissa voidaan jokin sillan osa, esimerkiksi kansilaatta, suunnitella etukäteen, joten sen paino tunnetaan mitoituslaskelmavaiheessa.

### 3.25 Varmuustarkastelu

Varmuustarkastelu muodostaa pääosan lujuuslaskelmista. Sen tarkoituksena on osoittaa, että rakenne määrätyllä varmuudella kestää siihen kohdistuvat kuormitukset. Varmuustarkastelu jakautuu periaatteessa seuraaviin osiin:

- voimasuureiden laskeminen eri kuormista ja kuormituksista rakenteen eri kohdissa
- rakenteen kapasiteetin tai sallittujen voimasuureiden laskeminen eri leikkauksissa
- voimasuureiden määräävien arvojen ja rakenteen kapasiteetin keskinäinen vertailu eri kuormitustapauksissa.

Staattisesti määräämättömien rakenteiden voimasuureiden laskelmissa on esitettävä, mitä periaatetta ja laskentamenetelmää noudattaen voimasuureet on laskettu. Selventävät kuvat ja kirjallisuusviitteet helpottavat laskelmien seuraamista ja tarkastusta. Tärkeimpien välitulosten ja lopputulosten on selvästi erotuttava laskelmissa. Rakenteen kapasiteetin laskemisessa voidaan eri tapauksissa erottaa mm. seuraavat tarkastelut:

- jännitystarkastelu, jonka mukaan rakenteen kantokyky todetaan sallittujen jännitysten nojalla
- halkeamatarkastelu, jolla selvitetään betonirakenteiden kyky halkeilematta kestää kysymykseen tulevalle varmuuskertoimella kerrottujen kuormien vaikutus
- murtotarkastelu, jossa lasketaan rakenteen eri osien suurin kantokyky materiaalin ollessa myötötilassa
- vakavuustarkastelu, joka tarkoittaa niiden kysymykseen tulevien, rakenteelle ominaisten voimasuureiden arvojen määräämistä, jotka koko rakenteen tai rakenteen osan vakavuuden kannalta ovat kriittisiä.

Voimasuureiden ja rakenteen kapasiteetin laskeminen voidaan suorittaa joko kokonaan tai osittain myös tietokoneella. Tällöin on laskelmissa esitettävä ohjelman periaate sekä laskentamenetelmä ja osoitettava, että ohjelma on testamalla todettu luotettavaksi.



### 3.26 Siirtymätarkastelu

Siirtymätarkastelu käsittää rakenteen taipumien ym. siirtymien laskemisen sekä pysyvistä että muuttuvista kuormista. Pysyvistä kuormista johtuvien siirtymien ja taipumien arvoja käytetään hyväksi rakenteen valmistus- tai asennusmittoja määrättäessä. Siirtymätarkastelu suoritetaan kaikille niille rakenneosille, joissa esiintyvät siirtymät voivat myöhemmin aiheuttaa muutoksia rakenteen muodossa tai toiminnassa. Tarkastelun lopussa verrataan laskettuja arvoja normeissa esitettyihin sallittuihin tai ohjearvoihin.

### 3.27 Yhteenveto laskelmien tuloksista

Laskelmien loppuun kootaan taulukkomuotoon yhteenveto varmuus- ja siirtymätarkastelujen oleellisimmista tuloksista rakenteen eri osissa. Taulukossa esitetään erikseen pysyvien ja muuttuvien kuormien sekä näiden yhdistelmien aiheuttamat suurimmat jännitykset ja siirtymät samoin kuin varmuudet halkeamien, murtumien ja vakavuuden suhteen. Rakenteen kantavuuden arvostelun helpottamiseksi on taulukkoon merkittävä myös vastaava sallittu arvo.



### 3.3 Muut asiakirjat

#### 3.31 Alustavaan suunnitelmaan liittyvät asiakirjat

##### 3.311 Alustava kustannusarvio

Alustava kustannusarvio laaditaan alustavasta yleispiirustuksesta laskettavien massojen ja arvioitujen yksikköhintojen perusteella noudattaen TVH:n vahvistettua suoriteryhmittelyä ja mahdollisia erillisiä kustannusarvion laatimista koskevia ohjeita.

##### 3.312 Alustava työaikataulu

##### 3.313 Siltapaikan vesistöselostus

Siltapaikan vesistöselostus täydennetään siltasuunnitelmaa koskevilla tiedoilla.

##### 3.314 Sillan valokuva-asennelmat ja pienoismalli

#### 3.32 Lopulliseen suunnitelmaan liittyvät asiakirjat

##### 3.321 Siltakohtainen työselitys

Siltakohtainen työselitys laaditaan erillisten ohjeiden mukaan.

##### 3.322 Massaluettelo

Massaluettelossa esitetään piirustusten perusteella lasketut työ- ja ainemenukit noudattaen TVH:n suoriteryhmittelyä.

##### 3.323 Kustannusarvio

Kustannusarvio laaditaan erillisten ohjeiden mukaan massaluettelosta saatavien massojen ja arvioitujen yksikköhintojen perusteella noudattaen TVH:n suoriteryhmittelyä.

#### 3.33 Rakennesuunnitelmaan liittyvät asiakirjat

##### 3.331 Betoniteräsluettelo

Teräsbetonirakenteen raudituspiirustukseen liittyvään betoniteräsluetteloon merkitään kunkin teräksen osanumero, teräslaatu, halkaisija, katkaisupituus, lukumäärä, yhteispituus sekä taivutustyyppi ja taivutusmitat. Taivutusmittojen selventämiseksi esitetään eri taivutustyypeistä kaaviopiirrokset. Rakennesitain tehdään yhteenveto, jossa esitetään eri paksuisten terästen yhteenlaskettu pituus ja palno eriteltyinä terästen laadun ja halkaisijan mukaan. (liite III.3)



### 3.332 Rakenteiden ainemenekkiluettelo

Teräsbetonirakenteen ja jännitetyn betonirakenteen ainemenekkiluettelo käsittää piirustusten ja betoniteräsluettelon perusteella lasketut teoreettiset aine-  
menekit rakenneosittain jaoteltuina. Ainemenekkiluettelo sisältyy tavallisesti rakenteen muotopiirustuksiin. Siinä tulee eritellä ainakin seuraavat aine-  
nekit:

- betonin eri laadut
- betoniterästen eri laadut ja paksuudet
- jänneet
- ankkurit
- muottilaudoitus
- paalut
- eristys- ja päällystekerrokset
- liikuntasaumot, syöksytorvet yms.

Teräsrakenteen ainemenekkiluettelo muodostuu osaluetteloista kootusta erillisestä yhteenvedosta. Ainemenekkiluettelo jaotellaan lujuus- ja laatuluokittain. Siinä eritellään eri paksuiset levyt, lattatangot, kulmatangot ja muut profiilit. Rakenteiden kokonaispainoa laskettaessa otetaan huomioon niitti- ja pulttiliitoksista sekä hitsisaumoista aiheutuva lisäys.

Puurakenteen ainemenekkiluettelossa esitetään piirustusten perusteella lasketut teoreettiset aine-  
menekit. Ainemenekkiluettelo sisältyy tavallisesti rakennepiirustuksiin. Siinä eritellään ainakin:

- eri lujuus- ja kosteusluokkiin kuuluva puutavara
- sahattu ja pyöreä puutavara
- eri laatuiset liittimet
- eristys- ja päällystekerrokset

### 3.333 Jännittämissuunnitelma

Jännittämissuunnitelma laaditaan jännitettyjen betonirakenteiden normeissa annettujen ohjeiden mukaan. (Liite III.4)

### 3.334 Asennussuunnitelma

Asennussuunnitelmaa laadittaessa otetaan soveltuvin osin huomioon se, mitä edellä on sanottu rakennepiirustuksista ja laskelmista.



#### IV Laskelmaohjeet

##### 1. Laskelmien teoreettiset perusteet

###### 1.1 Voimasuureiden laskeminen

Voimasuureet voidaan yleensä määrätä lineaariseen kimmoteoriaan perustuvilla laskumenetelmillä. Tällöin edellytetään, että:

- rakennusaineen jännitysten ja muodonmuutosten välinen suhde voidaan olettaa suoraviivaiseksi
- rakenteen muodonmuutokset ovat päämittoihin verrattuina niin pieniä, että niiden vaikutus rakennesysteemiin geometriaan voidaan jättää huomioon ottamatta

Edellä mainittujen lineaarisen kimmoteorian edellytysten ollessa täytetyt superpositioperiaate on voimassa, jolloin eri kuormista aiheutuvia jännityksiä tai muodonmuutoksia voidaan yhdistellä yksinkertaisesti yhteenlaskemalla.

Epälineaarisen kimmoteorian käyttö tulee voimasuureita laskettaessa käytännössä tarpeelliseksi silloin, kun rakenteen muodonmuutosten vaikutusta ei enää voida pitää pienenä (geometrinen epälineaarisuus). Tällöinkin voidaan jännitysten ja muodonmuutosten välinen suhde yleensä olettaa suoraviivaiseksi (fysikaalinen lineaarisuus). Muodonmuutosten vaikutuksen huomioon ottaminen on tarpeen esimerkiksi seuraavien rakenteiden kohdalla:

- hoikat kehärakenteet, joita kuormittavat suuret normaalivoimat, etenkin, jos kehän nurkkien siirtymät ovat mahdollisia
- maahan ankkuroidut riippusillat
- suuret kaarisillat

Epälineaarisen kimmoteorian mukaan laskettaessa superpositioperiaate ei ole voimassa. Tämän vuoksi voimasuureet tulee määrätä varmuuskertoimilla kerrotuista kuormista käsitellen kutakin kuormayhdistelmää yhtenä kokonaisuutena.

Plascisuusteoriaan perustuvia laskumenetelmiä saa käyttää voimasuureiden laskemiseen maanpaineen määrittämisen lisäksi seuraavissa tai niihin verrattavissa olevissa erikoistapauksissa:

- olemassa olevan sillan kantokyvyn määrittäminen, kun sillan yli on tarkoitus suorittaa valvonnan alainen ylläpito
- vaurioituneen sillan kantokyvyn määrittäminen
- jännitetyn betonirakenteen murtovarmuustarkastelu silloin, kun kohdassa IV 2.37 mainittua edellytystä kimmoteorian käyttämiseksi ei ole täytetty



Plastisuusteorian mukaan laskettaessa superpositioperiaate ei ole voimassa.

Riippumatta siitä, mihin edellä esitetyistä kolmesta teoriasta laskelmat perustuvat, voidaan taivutettuja rakenteita käsiteltäessä pitää teknillistä taivutusoppia riittävänä, mikäli sen käytölle asetetut yleiset edellytykset ovat täyttyt. Mikäli teknillistä taivutusoppia ei voida soveltaa, pyritään löytämään ratkaisu matemaattisen kimmo-opin tai plastisuusteorian avulla. Näihin ryhmiin kuuluva menettely on tarpeen, kun tarkastelun kohteena on esimerkiksi:

- levy tai pituuteensa verrattuna korkea palkki
- paikallinen jännityshuippu
- kosketusjännitys



## 1.2 Jännitystarkastelu

Jännitykset voidaan laskea lineaariseen tai epälineaariseen kimmoteoriaan perustuvilla laskumenetelmillä saaduista voimasuureista teknillisen taivutusopin ja lineaarisen kimmoteorian avulla ottaen huomioon poikkeukset, joihin edellä on viitattu.

Lineaarisen kimmoteorian mukaan saaduista voimasuureista laskettujen jännitysten tulee pysyä eri rakennusaineita koskevissa normeissa annettujen sallittujen jännitysten rajoissa.

Epälineaaristen kimmoteoriaa sovellettaessa lasketaan voimasuureet varmuuskertoimilla kerrotuista kuormista. Voimasuureista määrätyt jännitykset saavat nousta enintään ylempään myötörajaan teräksellä ja ao. normeissa määritettyihin arvoihin betonilla.

Betonirakenteiden halkeamatarkastelu suoritetaan jännitystarkasteluna ao. normeissa annettujen ohjeiden mukaan.



### 1.3 Murtotarkastelu

Plastisuusteorian mukaan laskettaessa varmuustarkasteluun kuuluu murtotarkastelu, joka perustuu rakenteen kantokyvyn määrittämiseen kriittisten leikkausten kapasiteetin avulla rakennusaineen ollessa myötörajalla. Leikkausten kapasiteettia laskettaessa otetaan rakennusaineen jännityksen ja muodonmuutoksen välinen suhde huomioon todellisuuden mukaisena, rakenneteräksillä voidaan kuitenkin yleensä käyttää ideaalista elastis-plastista jännitys-venymäkäyrää. Rakenteen kantokyvyn ja käyttökuormituksen suhde osoittaa murtumisen suhteen saavutettavan varmuuskertoimen suuruuden. Varmuuskertoimen tulee täyttää eri rakennusaineiden normeissa asetetut vaatimukset. Tämän lisäksi käyttökuormitus ei saa aiheuttaa rakenteeseen pysyviä muodonmuutoksia.

Jännitettyjen betonirakenteiden murtotarkastelu suoritetaan ao. normeissa ja kohdassa 2.37 annettujen lähempien ohjeiden mukaan.



#### 1.4 Vakavuustarkastelu

Vakavuustarkastelussa määrätään niiden rakenteelle ominaisten kuormien arvot, jotka ovat koko rakenteen tai rakenneosan vakavuuden kannalta kriittilliset. Varmuus vakavuuden häviämiseen nähden todetaan kriittillisen kuorman ja käyttökuorman suhteesta.

Rakenteiden mitoittaminen vakavuustehtävänä voidaan yleensä suorittaa eri rakennusaineiden normien mukaisesti ellei käytetä tarkempia menetelmiä.

Kun vakavuustarkastelu kohdistuu rakenneosaan, jonka sortuessa koko rakenne menettää kantokykynsä, otetaan kriittillistä kuormaa määrättäessä rakenneosan reunaehdot, poikkileikkausmuoto sekä jännitysten ja muodonmuutosten välinen suhde huomioon mahdollisimman tarkoin todellisuuden mukaisina.



### 1.5 Siirtymätarkastelu

Siirtymätarkastelulla todetaan rakenteeseen syntyvien muodonmuutosten suuruus. Tällöin määrätään esim. taipumat, jotka eivät saa ylittää sallittuja arvoja. Siirtymätarkastelulla määrätään myös rakenteen omaa painoa vastaavat tarpeelliset kohotukset, jolloin voi olla tarpeellista ottaa huomioon myös hyötykuorman osuus kohotuksiin. Siirtymätarkastelu suoritetaan lineaarisen tai epälineaarisen kimmoteorian mukaan riippuen siitä, minkä menetelmän mukaan voimasuureet on määrätty. Plastisuusteoreettisissa mitoitusmenetelmissä on siirtymätarkastelu suoritettava myös käyttökuormille, joista ei saa aiheutua rakenteelle plastisia muodonmuutoksia.



## 2. Eri rakennusaineisiin liittyviä yleisiä laskelmaohjeita

### 2.1 Yleistä

Rakenteiden laskelmissa tulee pyrkiä käsittelemään siltaa mahdollisimman ehjänä kokonaisuutena kantavasta maapohjasta lähtien. Edellä sanottua periaatetta ei voida laskennollisten vaikeuksien vuoksi noudattaa useinkaan kovin pitkälle ja käytännössä voidaankin yleensä menetellä siten, että sillan pääosia (perustus, alusrakenne), päällysrakenne) tarkastellaan erillisinä asettamalla niille sopivat, tavallisesti idealisoidut reunaehdot.

Jäsenneltäessä sillan pääosia laskelmia varten edelleen sauvoiksi, palkeiksi, laatoiksi tai levyiksi, tulee pyrkimyksenä olla, että osien summa vastaa mahdollisimman tarkoin kokonaisuutta. Vaikka jonkin tekijän vaikutus arvioidaan kokonaisuuden kannalta pieneksi ja jätetään sellaisena huomioon ottamatta, on usein kuitenkin välttämätöntä tarkistaa sen vaikutus itse osan saamiin rasituksiin. Edellä sanottua selventävänä esimerkkinä mainittakoon: Pääkannattajien vääntöjäykkyys voidaan joissakin tapauksissa jättää kuormien jakautumista määrittäessä huomioon ottamatta, mutta ei pääkannattajien vääntörasituksia laskettaessa.

Silloin kun jonkin tekijän vaikutusta ei voida täsmällisesti laskea, vaan joudutaan tyytymään arvioon, on syytä arvioida vaikutukselle ylä- ja alaraja, joilla molemmilla laskelmat suoritetaan.

Määrätyissä siltatyypeissä on eri rakennusvaiheita vastaavat jännitystilat erikseen tutkittava (esim. teräsbetoniset holvi- ja kaarisillat, jännitetyt rakenteet).

Piirustuksissa, työselityksessä ja normeissa määritellyt sallitut mittapoikkeamat tulee ottaa huomioon rakenteiden laskelmissa silloin, kun niillä on oleellinen vaikutus jännityksiin.



## 2.2 Teräsbetonirakenteet

### 2.21 Materiaaliominaisuudet

Betonin ja betoniterästen fysikaaliset ominaisuudet ja sallitut jännitykset määritetään betoni- ja teräsbetonirakenteita koskevien määräyksien mukaan. Teräksen ja betonin kimmokertoimien suhteelle  $n$  käytetään sen todellista arvoa. Kuitenkin voidaan teräsbetonirakenteiden jännitystarkastelussa käyttää todellista suurempaa  $n:n$  arvoa ( $n = 15$ ), joka ottaa huomioon hiipuman ja kutistuman vaikutuksen jännityksiin, ellei hiipuman ja kutistuman vaikutusta oteta erikseen huomioon. Betonin suppeumaluvun  $\nu$  arvoksi voidaan otaksua  $\nu = 1/6-1/5$ .

Laskettaessa pysyvän kuorman aiheuttamia siirtymiä ja jännityksiä, voidaan hiipuman vaikutus ottaa huomioon siten, että betonin kimmokerroin kerrotaan

$$\frac{1}{1+\phi} : \text{llä.}$$

Jos kysymyksessä on pitkäaikainen (ei pysyvä) kuorma, joka vaikuttaa rakenteeseen aikavälillä  $t_1-t_2$ , voidaan aikavälillä tapahtuva hiipuma ottaa huomioon kertomalla kimmokerroin  $\frac{1}{1+(\phi_{t2}-\phi_{t1})} : \text{llä.}$

Staattisesti määräämättömien rakenteiden siirtymistä, tukien painumista, kutistumista tms. aiheutuvia voimasuureita laskettaessa on hiipuman vaikutusta määrättäessä otettava huomioon siirtymän tai muodonmuutoksen nopeus ja toistuvuus.

Nopeasti tapahtuvan, toistumattoman siirtymän, kuten kitkamaalajien varassa olevan perustuksen painumisen aiheuttamien voimasuureiden voidaan olettaa pienenevän hiipuman vaikutuksesta  $e^{-\frac{\phi-0,4}{1,4}}$  -kertaisiksi alkuarvostaan. Vasteavasti

voidaan olettaa hitaasti tapahtuvan siirtymän, kuten kohesiomaalajien varassa olevien perustusten painumisen tai betonin kutistumisen aiheuttamien voimasuureiden kasvavan nolasta arvoon, joka on  $\frac{1-e^{-\frac{\phi-0,4}{1,4}}}{\phi-0,4}$  -kertainen verrattuna

nopeasti tapahtuvan ilmiön aiheuttamaan.

Hiipumaluvun arvot voidaan määrätä Jännitettyjen betonirakenteiden normien mukaan.



## 2.22 Poikkileikkaussuureiden laskeminen

### 2.221 Yleistä

Teräsbetonirakenteiden taivutusjäykkyys riippuu halkeamien muodostumisesta. Todellinen taivutusjäykkyys  $EI$  on pienempi kuin homogeeniselle poikkileikkaukselle laskettu taivutusjäykkyys  $EI_1$  ja suurempi kuin halkeilleelle poikkileikkaukselle laskettu jäykkyys  $EI_2$  (jännitystila II), jolloin on otettu huomioon betonipoikkileikkauksen puristusvyöhyke ja  $n$ -kertainen vetoterästen pinta-ala. Mikäli esiintyvät vetojännitykset ovat betonin vetolujuuden alapuolella, veto-  
vyöhyke ei ole halkeillut, taivutusjäykkyys on  $EI_1$ , jossa betonipoikkileikkauksen lisäksi voidaan ottaa huomioon terästen  $(n-1)$  kertainen pinta-ala. Taivutusjäykkyydet ovat siten

Halkeillut poikkileikkaus  $EI_1 > EI > EI_2$

Halkeilematon "  $EI = EI_1$

Edellisestä johtuen teräsbetonirakenteen jäykkyys vaihtelee betonin vetojännitysten suuruuden ja teräsmäärän mukaan ja käytännössä jäykkyyksmuutosten huomioon ottaminen on vaikeasti tehtävissä. Ellei käytetä tarkempia menetelmiä, voidaan voimasuureet ja muodonmuutokset määrätä seuraavasti:

### 2.222 Massiiviset laatat

Voimasuureet määrätään käyttämällä vakio taivutusjäykkyyttä

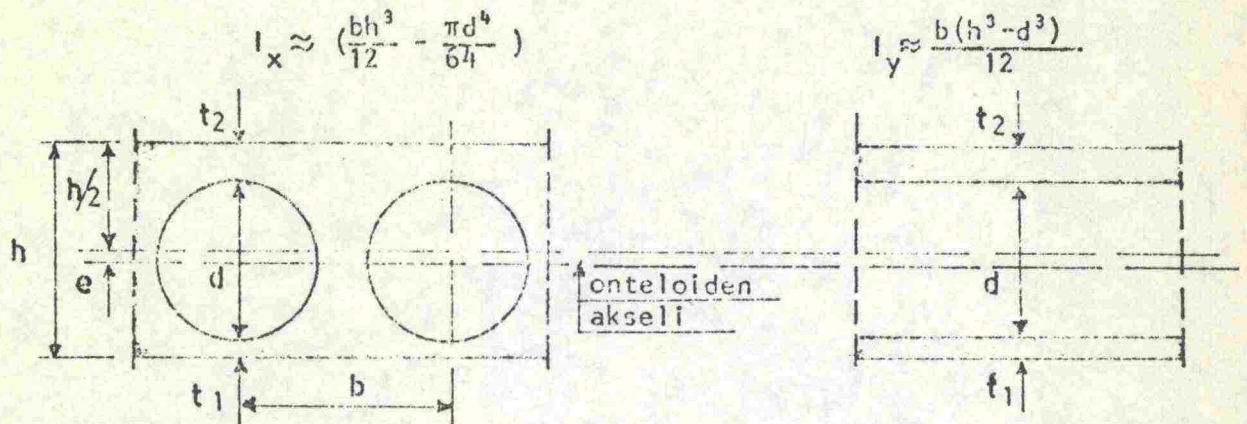
### 2.223 Ontelolaatat

Tukien ja pilarien kohdalla on laatta tavallisesti massiivinen ja tämän osan pituus on yleensä pieni laatan jänneväleihin verrattuna, joten voimasuureita laskettaessa voidaan käyttää ontelo-osan jäykkyyksiä. Ontelolaatta on ortotrooppinen rakenne, jonka taivutusjäykkyydet ovat yleensä  $D_x \neq D_y$ . Voimasuureita määrättäessä on tunnettava jäykkyyksien  $D_x/D_y$  suhde. Kokeellisesti on esim. todettu jäykkyyssuhteiden vaihtelevan rajoissa

$$\frac{I_y}{I_x} > \frac{D_y}{D_x} > 2 \frac{I_y}{I_x} - 1.$$

Hitausmomentti  $I_x$  onteloiden suunnassa lasketaan homogeeniselle poikkileikkaukselle, jolloin vähennetään onteloiden osuus ja hitausmomentissa  $I_y$  huomioidaan vain pienimmät paksuudet onteloiden ylä- ja alapuolella (kuva IV 2.223).





Kuva IV 2.223 Ontelolaatan hitausmomentit

Mikäli paksuudet  $t_1$  ja  $t_2$  eroavat huomattavasti toisistaan lasketaan hitausmomentit ottamalla huomioon onteloiden epäkeskelsyyden  $e$ -vaikutus.

#### 2.224 Yksinkertaiset laatta- ja kotelopalkit

Jännityksiä, jäykkyyksiä ja muodonmuutoksia laskettaessa käytetään kohdan IV 2.23 mukaan määrättyjä laatan tehollisen leveyden arvoja. Jäykkyyksiä ja muodonmuutoksia laskettaessa voidaan hitausmomenttina käyttää homogeenisen ja halkeliheen poikkileikkauksen keskiarvoa jänteen keskellä. Terästen ja betonin kimmokertoimien suhde  $n$  määrätään tällöin käyttämällä betonille normien mukaista kimmokerrointa.

#### 2.225 Jatkuvat tasakorkeat laatta- ja kotelopalkit

Teholliset leveydet määrätään kohdan IV 2.23 ja kuvan IV 2.225 mukaan.



## 2.226 Viisteelliset laatta- ja kotelopalkit

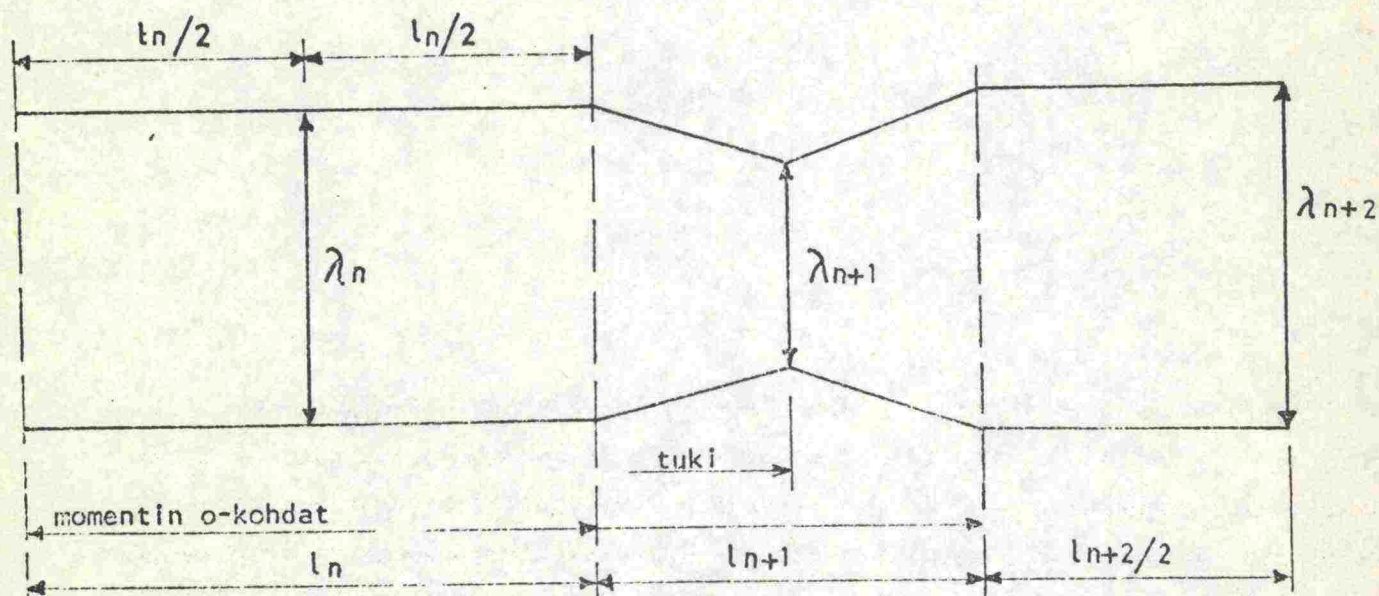
Teholliset leveydet määrätään kohdan IV 2.23 ja kuvan IV 2.225 mukaan. Voimasuureita, jäykkyyksiä ja muodonmuutoksia laskettaessa käytetään hitausmomenttina kentässä ja tuilla homogeenisen ja halkeilleen poikkileikkauksen keskiarvoa. Halkeilleen poikkileikkauksen hitausmomenttia laskettaessa otetaan vedetyssä laatussa huomioon vain tehollisen leveyden alueella olevat vetotéräket.

## 2.23 Laattapalkin ja kotelopalkin laatan tehollinen leveys

### 2.231 Yleistä

Laatan tehollinen l. toimiva leveys riippuu laattapalkin kuormitus- ja tukemistavasta, sivuttaisesta siirtymämahdollisuudesta sekä palkin ja laatan mittasuhteista. Tehollinen leveys voidaan määrätä eri suureiden mukaan, kuten palkin pituussuuntaisen normaalijännityksen  $\sigma$  tai käyristymän  $\kappa$  mukaan. Seuraavassa tarkastelussa on esitetty normaalijännityksen mukaan määrättyjä tehollisen leveyden arvoja  $\lambda^\sigma$ . Normaaleilla laatan ja palkin mittasuhteilla, jännityksen mukaan määrättyt tehollisen leveyden arvot  $\lambda^\sigma$  ja käyristymän mukaan määrättyt arvot  $\lambda^\kappa$  eivät eroa oleellisesti toisistaan, joten seuraavassa esitettyjä  $\lambda$ :n arvoja voidaan käyttää myös muodonmuutoksia laskettaessa. Tehollisen leveyden arvoja määrättäessä ei ole otettu huomioon laatan omaa taivutusvastusta. Mikäli laatan suhteellinen paksuus  $\delta = d/h$  on suurempi kuin 0,20, on tehollista leveyttä määrättäessä otettava huomioon myös laatan taivutusvastus. Kuvissa IV 2.232a-g annetut tehollisen leveyden arvot tarkoittavat kuvan IV 2.231 a ja b mukaisia poikkileikkauksia. Kuvan c mukaisen poikkileikkauksen arvot ovat pienempiä ja ero on suurimmillaan n. 15 %.



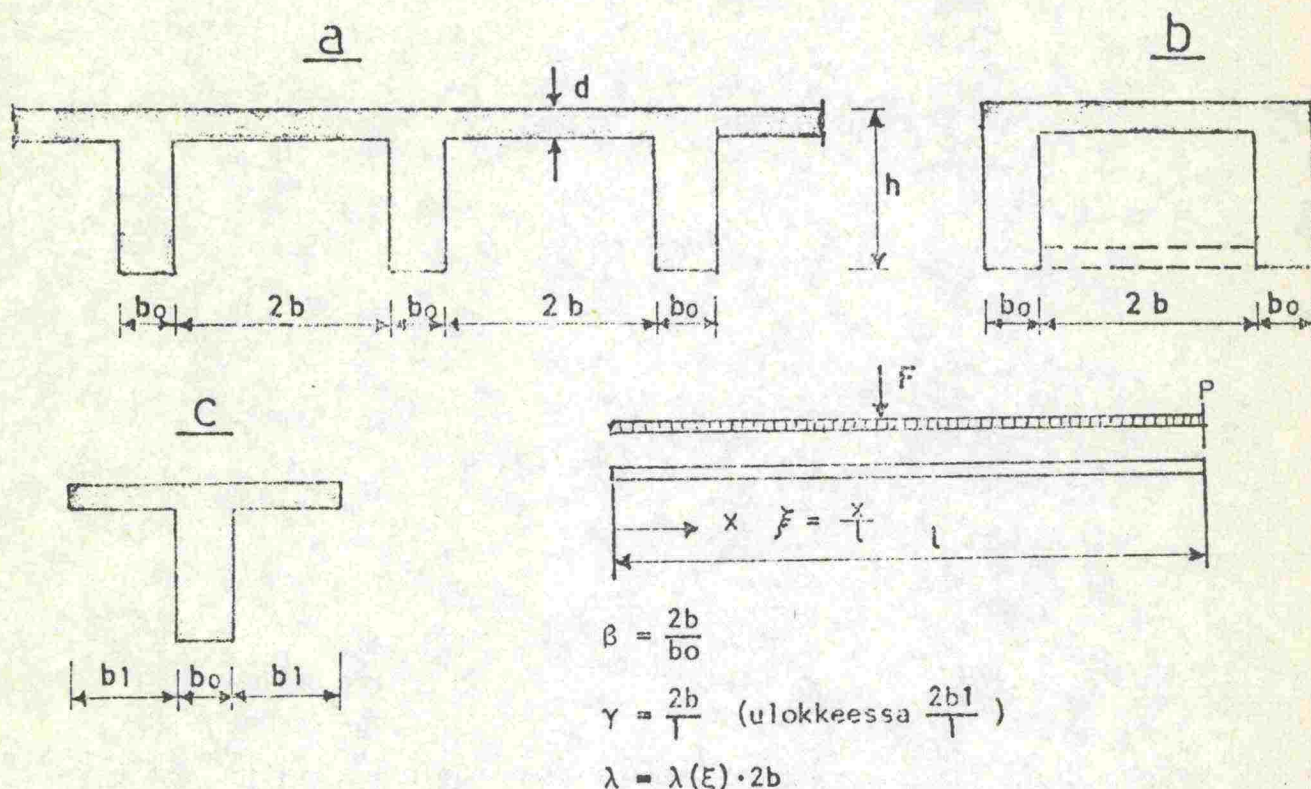


Kuva IV 2.225 Laatan tehollisen leveyden määrittäminen tasakorkeassa laatta- ja kotelopalkissa. (Merkinnät ks. kohta IV 2.23)

Teholliset leveydet määritetään kentässä olevien korvikepalkkien jänteen keskellä ja tukialueella olevassa korvikepalkissa tuen kohdalla, jolloin leveyden muuttuminen voidaan ottaa kuvan IV 2.225 mukaan.

Tällöin tuen kohdalla on yleensä pienempi tehollinen leveys kuin kentässä ja tästä johtuen hitausmomentti tuella olisi myös pienempi. Toisaalta on tukialueella usein vaakaviliste, joka vastaavasti lisää tuen hitausmomenttia. Jäykkyyssuhteiden arvostelemiseksi voidaan laskea hitausmomentit jänteen keskellä ja tuella homogeenisen ja halkeliheen poikkileikkauksen keskiarvona, jolloin tuella otetaan halkeliheen poikkileikkauksen hitausmomenttia laskettaessa huomioon vain tehollisen leveyden alueella olevat vetoteräksiset. Yleensä voidaan ottaa hitausmomentti vakioiksi jänteen matkalla ja normaali jännesuhteilla myös koko sillan matkalla. Edellä mainittuja tehollisen leveyden ja hitausmomenttien arvoja voidaan käyttää myös jäykkyyksiä ja muodonmuutoksia laskettaessa.





Kuva IV 2.231 Laatan tehollisen leveyden määrittämisessä käytettyjä merkintöjä

## 2.232 Laatan tehollinen leveys eri tapauksissa

Tarkastelussa on oletettu, että sillan reunatuilla on poikkipalkit, jotka on valettu kiinni laattaan ja välipoikkikannattajat ovat irti laatasta. Koska teräsbetonirakenteissa omanpainon osuus kokonaiskuormasta on suuri, voidaan omanpainon perusteella määrittäjä tehollisen leveyden arvoja käyttää yleensä myös hyötykuormille.

Mikäli halutaan ottaa tarkemmin huomioon eri kuormitustapausten vaikutus, voidaan määrittäjä eri kuormia vastaavat tehollisen leveyden arvot ja näiden ja vastaavien taivutusmomenttien avulla resultoiva tehollinen leveys seuraavasti:



$$\lambda_{\text{res}} = \frac{\frac{M_1}{\lambda_1} + \frac{M_2}{\lambda_2} + \dots}{\frac{M_1}{\lambda_1} + \frac{M_2}{\lambda_2} + \dots} = \frac{\sum \frac{M_n}{\lambda_n}}{\sum \frac{M_n}{\lambda_n}}, \text{ jossa}$$

$M_n$  = kuormaa  $n$  vastaava taivutusmomentti tutkittavassa leikkauksessa

$\lambda_n$  = kuormaa vastaava tehollinen leveys tutkittavassa leikkauksessa.

#### Yksinkertaiset palkit

Kuvassa IV 2.232 a on esitetty tehollisen leveyden arvot tasaiselle kuormalle  $\gamma$ :n arvoille 0...0,40 ja  $\beta$ :n arvoille 6, 10 ja 15. Leveydet on annettu suhteellisen koordinaatin  $\xi = x/L$  arvoilla  $\xi = 0,02, 0,30$  ja  $0,50$ . Kuvissa IV 2.232 b-g on vastaavasti esitetty tehollisen leveyden arvoja pistekuormalle sen vaikuttaessa välillä  $x = 0,36...0,50 L$ . (Merkinnät  $\beta, \gamma$  ja  $\lambda$  ks. kuva IV 2.231).

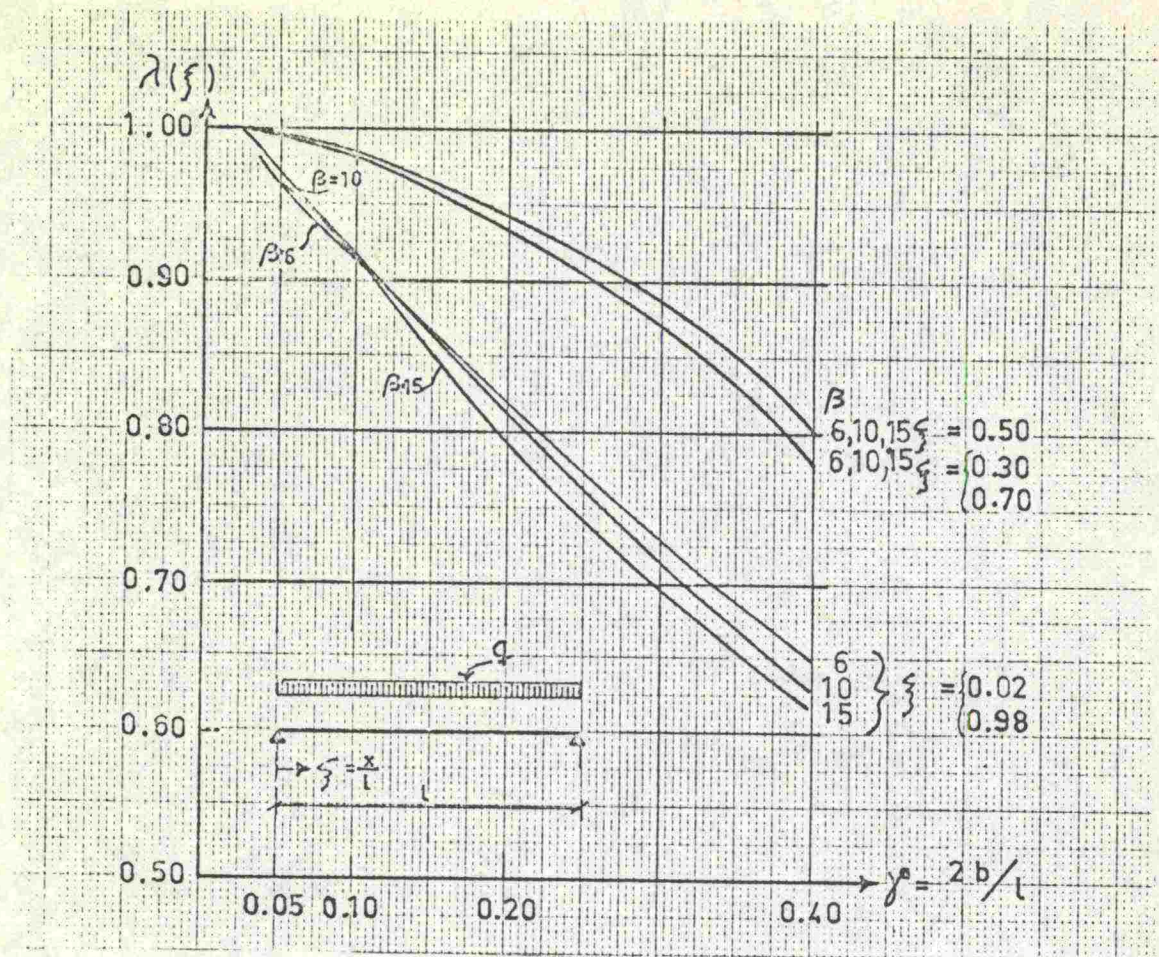
Käytännössä voidaan valita tehollinen leveys vakioksi palkin matkalla ja tällöin ottaa tasaisen kuorman  $\lambda$ -arvo tai resuloiva arvo  $\lambda_{\text{res}}$  jänteen keskellä. Mikäli tarvitaan tehollisen leveyden arvoja lähempänä tukia oleville pistekuormille sekä tasaisille kuormille, jotka eivät vaikuta koko jänteen matkalla, saadaan näille tapauksille kuuluvia arvoja esim. julkaisusta: Koepcke W, & Denecke G., Die mitwirkende Breite der Gurte von Plattenbalken. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 192, Wilhelm Ernst & Sohn Berlin 1967.

#### Jatkuvat palkit

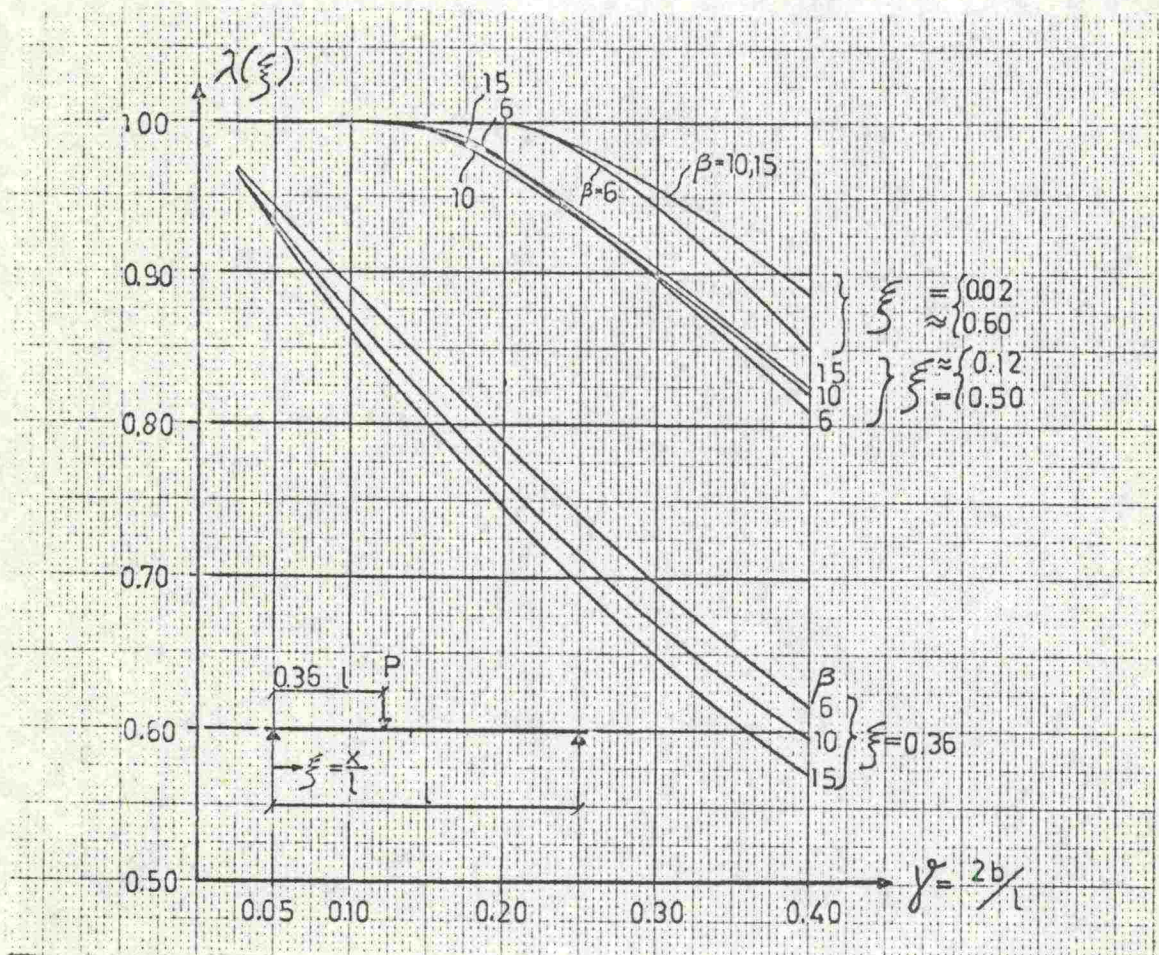
Jatkuissa palkeissa voidaan tehollinen leveys määrätä ns. korvikepalkkimenetelmällä, joka tarkoittaa sitä, että jatkuva palkki jaetaan yksinkertaisiksi palkeiksi momentin 0-pisteiden välillä. Tämä edellyttää, että momenttipinnan kulku tunnetaan ainakin likimäärin. Kuvassa IV 2.232 h on esitetty periaate korvikepalkkimenetelmän soveltamisesta. Tällöin saadaan tasaisen kuorman kuormittamat palkit joiden jännevälit ovat  $l_1, l_3$  ja  $l_5$  sekä tasaisen kuorman ja pistekuorman kuormittamat palkit jänneväleillä  $l_2$  ja  $l_4$ .

Kun momenttipinnan 0-kohdat on määrätty, käsitellään palkkeja yksinkertaisina palkkeina 0-kohtien välillä. Tällöin voidaan omanpainon perusteella määrättyjä arvoja käyttää myös hyötykuormalle.



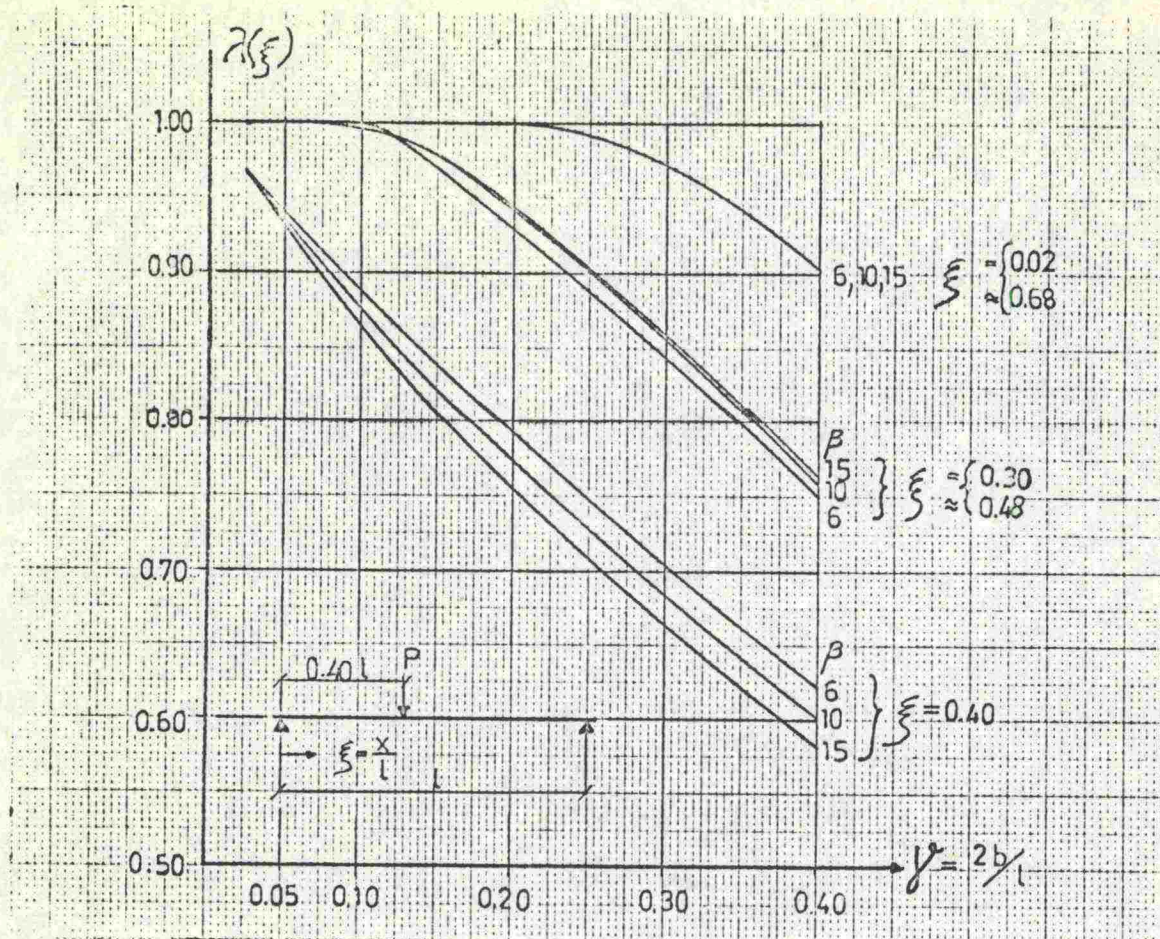


Kuva IV 2.232 a

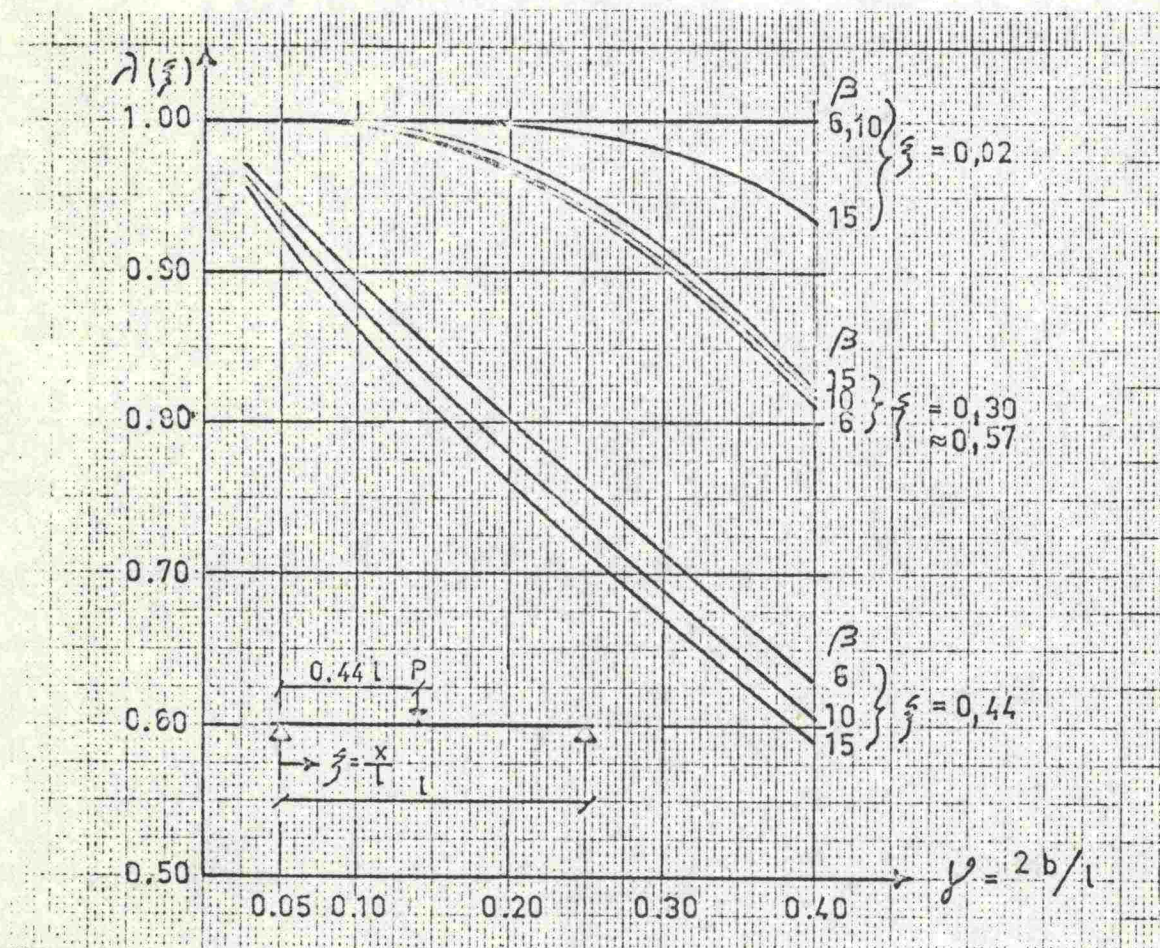


Kuva IV 2.232 b



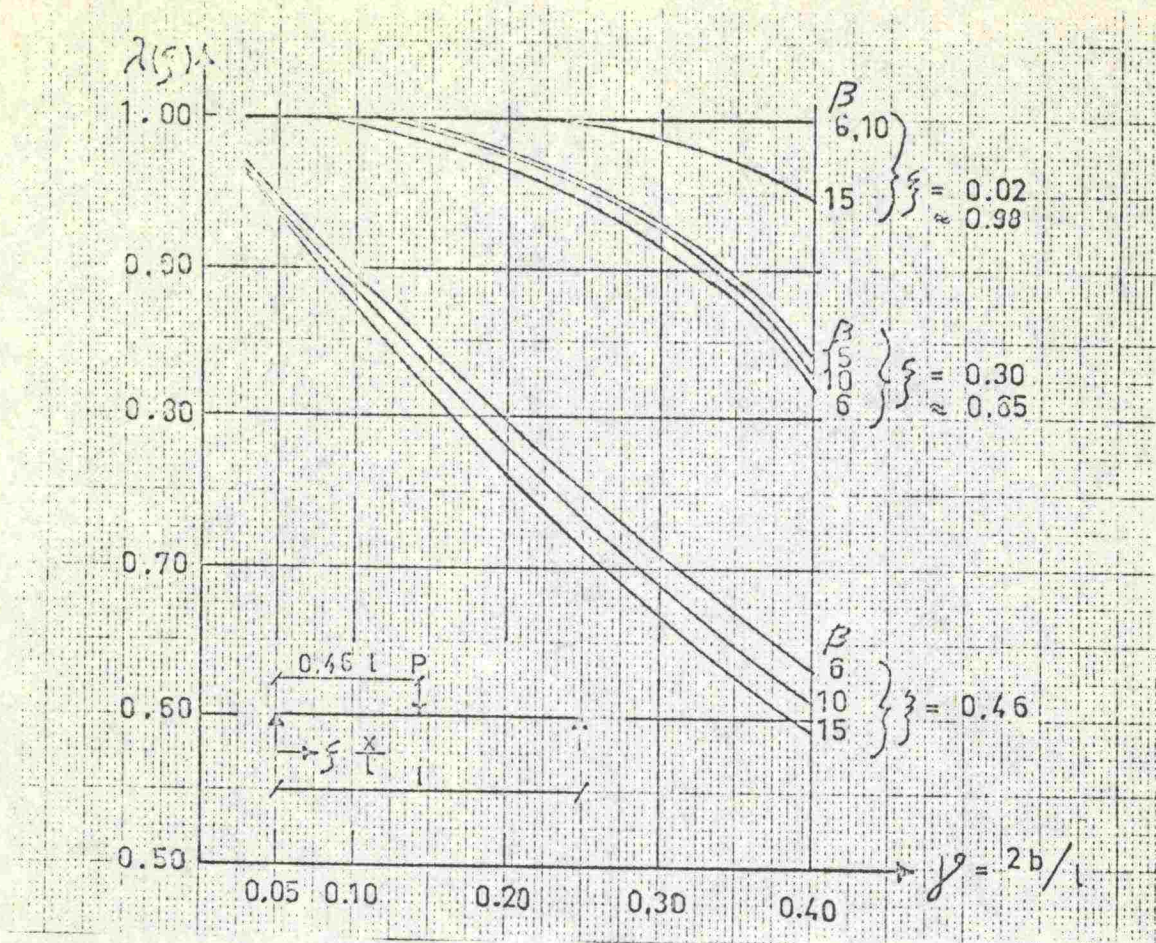


Kuva IV 2.232 c

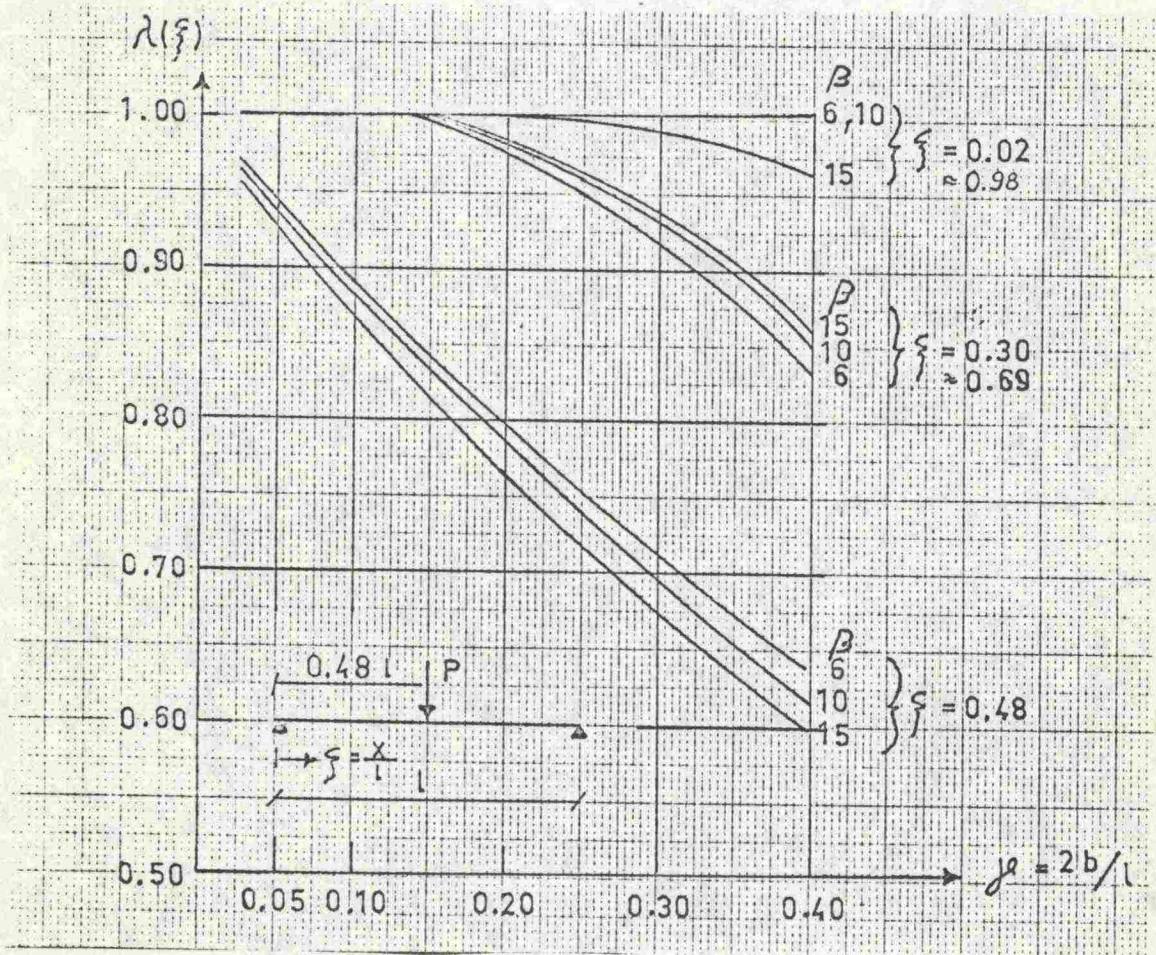


Kuva IV 2.232 d



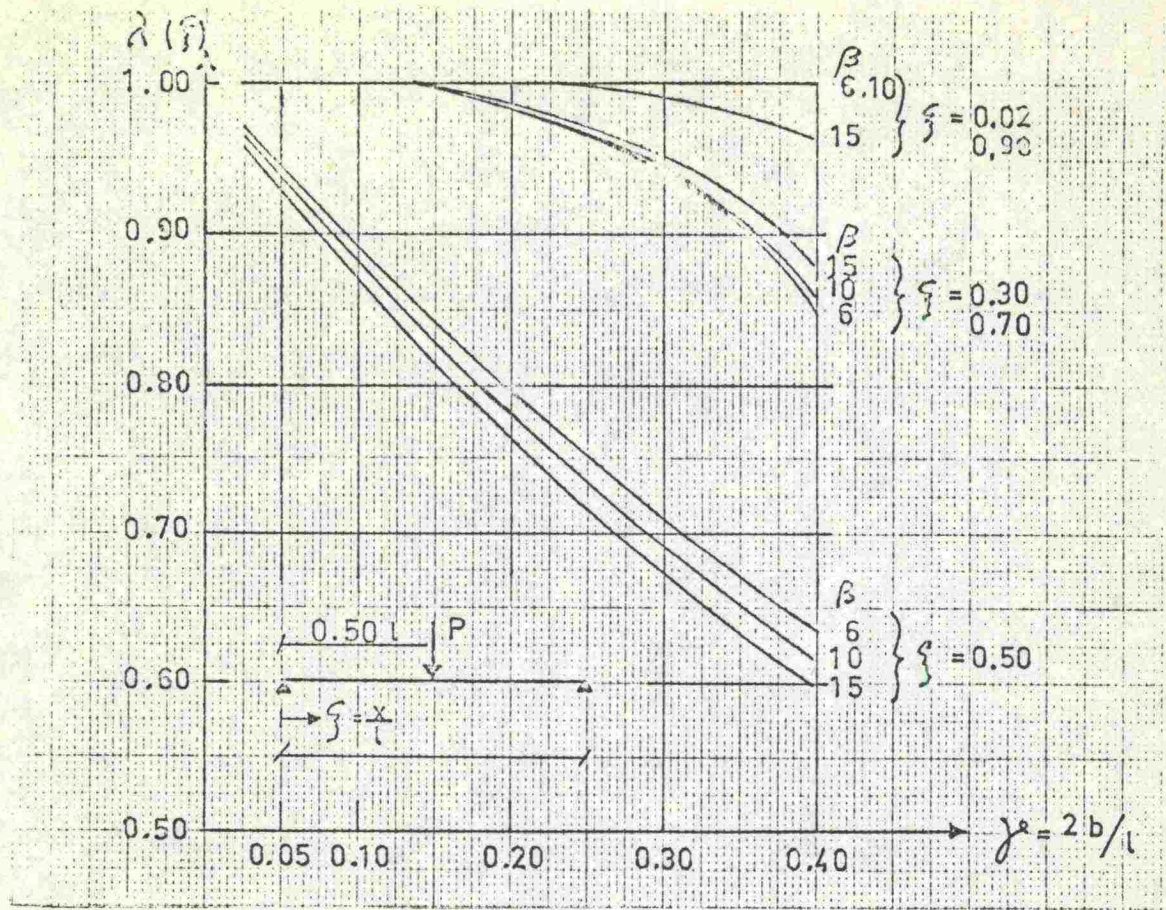


Kuva IV 2.232 e



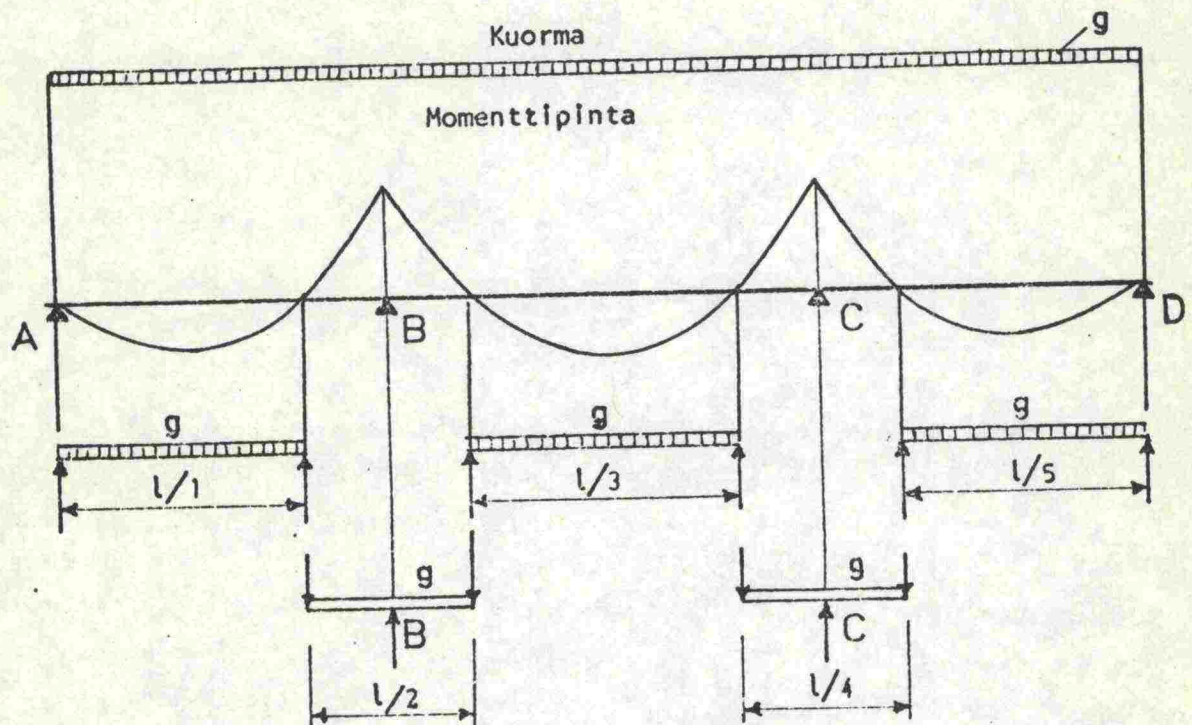
Kuva IV 2.232 f





Kuva IV 2.232 g





Kuva IV 2.232 h Jatkuvan palkin jakaminen korvikepalkkeiksi laatan tehollista leveyttä määrittäessä

Koska näin muodostuneiden palkkien päissä ei yleensä ole kohdassa IV 2.232 mainittuja päätypoikkikannattajia, eivät reunaehdot ole samoja kuin edellä tehollisen leveyden arvoja määrittäessä on oletettu. Tällä seikalla ei ole suurta merkitystä tarkasteltaessa tehollisen leveyden arvoja palkkien keskialueilla.

Käntissä sijaitsevat palkit on kuormitettu tasaisella kuormalla ja tukien kohdilla olevat palkit on kuormitettu tasaisella kuormalla sekä tukireaktion suuruusella pistekuormalla. Tasaisen kuorman kuormittamille palkeille saadaan tehollinen leveys kuvasta IV 2.232 a ja pistekuormalle kuvien IV 2.232 b-g avulla tukireaktion sijaintikohtaa vastaavasta käyrästä. Resultoiva tehollinen leveys on tällöin

$$\lambda_{\text{res}} = \frac{\frac{M_g + M_R}{M_g} + \frac{M_R}{M_g}}{\frac{M_g}{\lambda_g} + \frac{M_R}{\lambda_R}}, \text{ jossa}$$



$M_g$  = tasaisen kuorman  $g$  taivutusmomentti

$\lambda_g$  = tasaista kuormaa vastaava tehollinen leveys

$M_R$  = taivutusmomentti tukireaktiosta vapaasti tuetulla palkilla

$\lambda_R$  = tukireaktiona vaikuttavan pistekuorman tehollinen leveys.

Teholliset leveydet määrätään kentissä sijaitsevien palkkien keskellä ja tukien kohdilla.

## 2.233 Momenttipinnan 0-kohdat tehollista leveyttä määrättäessä

Tehollisen leveyden määrittämistä varten tarvittavan momenttipinnan ja 0-kohtien suhteen voidaan erottaa seuraavat tapaukset:

**Tasakorkeat palkit**

Momenttipinta ja momentin 0-kohdat voidaan määrätä käyttämällä vakiotaivutusjäykkyyttä.

**Viisteelliset palkit**

Tehollisen leveyden määrittämistä varten tarvittavat momenttipinnat voidaan laskea tasaisen kuorman kuormittamalle viisteelliselle palkille. Sauvavakioina voidaan käyttää homogeenisen suorakaidepoikkileikkauksen arvoja jättämällä laatan vaikutus huomioon ottamatta. Lopullisia voimasuureita määrättäessä käytetään kohdassa IV 2.224 mainittuja poikkileikkausarvoja.

## 2.24 Taipumat

Hyötykuorman aiheuttamien sallittujen taipumien ohjearvoina käytetään  $\frac{1}{500}$  jännemitasta, paitsi ulokkeissa  $\frac{1}{350}$  ulokkeen pituudesta. Rakenteelle annetaan kohotus, joka vastaa oman painon ja hiipuman aiheuttamaa taipumaa. Telineiden painumasta johtuva kohotus määrätään erikseen.



## 2.3 Jännitetyt betonirakenteet

### 2.31 Materiaaliominaisuudet

Betonin ja jänneterästen fysikaaliset ominaisuudet ja sallitut jännitykset määrätään jännitettyjen betonirakenteiden normien mukaan, betoniterästen osalta vastaavasti betoni- ja teräsbetonirakenteita koskevien määräyksien mukaan. Soveltuvalta osaltaan otetaan huomioon myös se, mitä teräsbetonirakenteista on vastaavassa kohdassa sanottu.

### 2.32 Poikkileikkaussuureiden laskeminen

Poikkileikkaussuureita laskettaessa otetaan betoniteräkset ja jänneteräkset huomioon, jälkimmäiset kuitenkin vain injektoimisen jälkeisissä kuormitustapauksissa. Ennen injektoimista esiintyvissä kuormitustapauksissa otetaan poikkileikkaussuureissa kaapelikanavien aiheuttama vähennys huomioon.

Muuten noudatetaan poikkileikkaussuureita laskettaessa kohdassa IV 2.22 annettuja ohjeita myös jännitettyihin betonirakenteisiin.

### 2.33 Jänteiden voimat ja venymät

Tarkasteltaessa määrättyä ajankohtana esiintyviä rakenteen jännityksiä otetaan jänteiden voimassa huomioon kaikki siihen mennessä tapahtuneet jännityshäviöt. Jännittämisen ja päästön yhteydessä vaikuttavasta jänneteräksen ja kaapelikanavan välillä sekä ankkurointiliukumasta aiheutuvat jännityshäviöt lasketaan asiaan kuuluvissa käyttöluvuissa annettujen arvojen perusteella. Betonin ja jänneterästen pitkäaikaismuodonmuutoksista johtuvat jännityshäviöt lasketaan jännitettyjen betonirakenteiden normeissa annettujen perusteiden mukaan.

Jänteiden jännitysvoimat esitetään laskelmissa myös graafisesti. Piirroksista tulee käydä selville jännitysvoiman suuruus jänteen koko pituudella ennen ankkurointia, välittömästi ankkuroinnin jälkeen ja pitkäaikaismuodonmuutosten tapahduttua.

Jännittämissuunnitelmaan merkittävä jänteen venymä tarkoittaa teräksen näennäistä venymää, jonka muodostavat seuraavat osatekijät:

- jänneteräksen venymä laskettuna kitkavoimien vähentämisestä jännevoimasta
- betonin kimmainen kokoonpuristuma jännitettävän jänteen kohdalla huomioon ottaen myös muiden jänteiden jännittämisen vaikutus

Päästön ja mahdollisen ankkurointiliukuman suuruus merkitään jännittämissuunnitelmaan erillisinä.



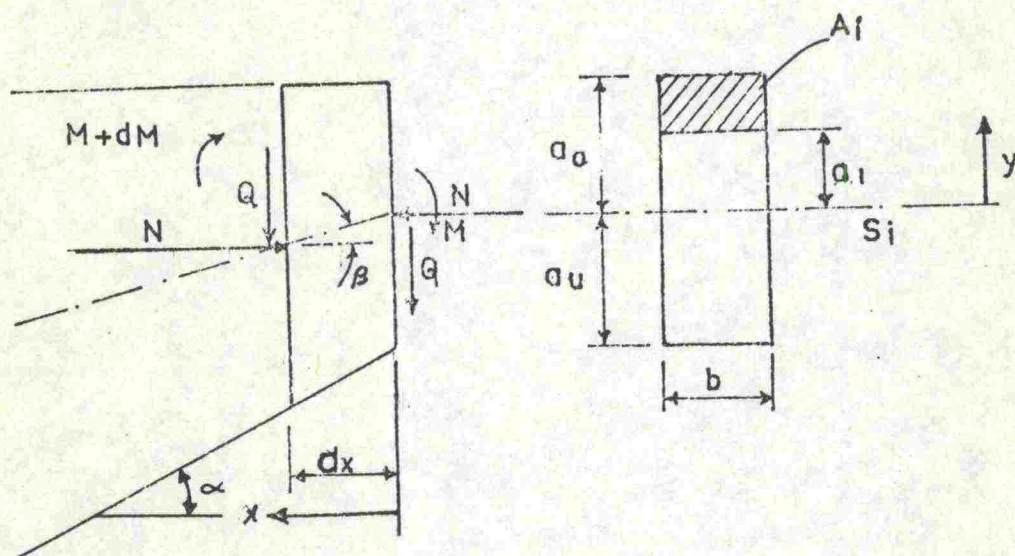
## 2.34 Jännevoimasta aiheutuvat voimasuureet

Staattisesti määrittämättömään rakenteeseen jännitysvoimasta aiheutuvia staattisesti määrittämiä voimasuureita laskettaessa tulee jännityshäviöt ottaa huomioon.

## 2.35 Jännitystarkastelu

Jännitystarkastelu suoritetaan käyttötilassa. Siinä määritetään betonin pääpuristusjännitykset ja teräsjännitykset, jotka eivät saa ylittää jännitettyjen betonirakenteiden normeissa (19 §) annettuja sallittujen jännitysten arvoja. Jänneterästen jännitykset ja ankkurien alle syntyvät jännitykset tarkistetaan myös jännittämishetkellä, jolloin (em. §:n mukaan) sallitaan korotetut teräs-jännitykset. Esipuristetuilissa vetovyöhykkeissä sallitaan lyhytaikaisesti, esim. ennen sillan päällystekerrosten tekoa, saman §:n mukaan korotetut jännitykset, joita määrittäessä tulee kuitenkin lähteä betonin senhetkisestä lujuudesta.

Pääjännityksiä laskettaessa otetaan huomioon kaikki vaikuttavat voimasuureet (taivutusmomentti, normaalivoima, leikkausvoima, vääntömomentti). Korkeudeltaan muuttuvan rakenneosan leikkausjännitykset voidaan laskea seuraavien kaavojen avulla (kuva IV 2.35):



Kuva IV 2.35 Korkeudeltaan muuttuva rakenneosa



$$A_i = \int_{a_1}^{a_0} dF$$

$$S = \int_{a_1}^{a_0} y dF$$

Leikkausvoima Q

$$\tau_Q = \frac{QS}{bl}$$

Taivutusmomentti M

$$\tau_M = \frac{M}{b} \left( \frac{A}{I} \tan \beta - \frac{S}{I^2} \frac{dI}{dx} \right)$$

Normaalivoima N

$$\tau_N = \frac{N}{b} \left( \frac{A_i}{A^2} \frac{dA}{dx} - \frac{S \tan \beta}{I} \right)$$

Jos on kysymyksessä korkeudeltaan muuttuva suorakaiteenmuotoinen poikkileikkaus ja käytetään työntöjännitysten laskemiseen bruttoarvoja, saadaan leikkausjännityksiksi

$$\tau_Q = \frac{Q \cdot S}{bl}$$

$$\tau_M = \frac{6M}{bh^2} \tan \alpha \left( 1 - 3 \frac{a_0^2 - y^2}{h^2} \right)$$

$$a_0 = \frac{h}{2}$$

$$\tau_M = \frac{3M(h^2 + 12y^2)}{2bh^4} \tan \alpha$$

$$\tau_N = \frac{N(a_0 - y)}{bh^2} \tan \alpha \left( 1 - 3 \frac{a_0 + y}{h} \right)$$

$$a_0 = \frac{h}{2}$$

$$\tau_N = - \frac{N(h-2y)(h+6y)}{4bh^3} \tan \alpha$$

Määräävä pääpuristusjännitys poikkileikkauksessa on yleensä sama kuin suurin reunajännitys. Poikkeuksen muodostavat sellaiset kohdat, joissa rakenteeseen vaikuttaa suuria keskitettyjä voimia, kuten ankkurivoima ja tukireaktiot. Lisäksi lyhyissä ulokkeissa leikkausjännitys voi olla niin suuri, että se vaikuttaa määräävän pääpuristusjännityksen paikkaan.



### 2.36 Halkeamavarmuustarkastelu

Halkeamavarmuustarkastelussa määrätään jännitettyjen betonirakenteiden normeissa esitettyjä osavarmuuskertoimia käyttäen päävetojännitykset, jotka eivät saa ylittää reunalla 0,85:llä kerrottua taivutusvetolujuutta ja painopisteakselilla 0,85:llä kerrottua vetolujuutta. Päävetojännityksiä laskettaessa otetaan huomioon kaikkien vaikuttavien voimasuureiden yhteisvaikutus.

Tiesillat luetaan halkeamavarmuustarkastelussa yleensä luokkaan II, jossa sallitaan lyhytaikaisten halkeamien syntyminen. Sellaiset sillan osat, jotka voivat tulla veden tai syövyttävien aineiden kanssa kosketukseen, luetaan kuitenkin luokkaan I, jossa ei sallita halkeamia.

### 2.37 Murtovarmuustarkastelu

Murtovarmuustarkasteluun kuuluu määräävien poikkileikkausten kapasiteetin laskeminen eri murtumistapoihin nähden sekä tulosten vertaaminen jännitettyjen betonirakenteiden normeissa (19 §) annetuilla osavarmuuskertoimilla kerrottujen kuormien aiheuttamiin voimasuureisiin.

Voimasuureet saa murtovarmuustarkastelussa laskea kimmoteorian mukaan sillä edellytyksellä, että varmuus ei vaihtelee huomattavasti rakenteen määräävissä poikkileikkauksissa.

Siltarakenteiden mitoituksessa tulee toisaalta pyrkiä tasaiseen varmuuteen rakenteen eri osissa, joten em. edellytys on yleensä täytetty. Muussa tapauksessa voidaan laskelmat suorittaa rajakuormamenetelmällä jännitettyjen betonirakenteiden normien (17 §:n) mukaan.

### 2.38 Taipumat

Hyötykuorman aiheuttamat taipumat saavat olla enintään  $\frac{1}{500}$  jännemitasta, paitsi ulokkeissa enintään  $\frac{1}{350}$  ulokkeen pituudesta. Rakenteelle annetaan kohotus, joka vastaa oman painon, jännitysvoiman, hiipuman, relaksaation ja kutistuman aiheuttamaa taipumaa. On huomattava, että em. tekijöiden yhteisvaikutuksesta rakenne voi taipua ylöspäin. Telineiden painumasta johtuva kohotus määrätään erikseen.



## 2.4 Teräsrakenteet

### 2.41 Materiaaliominaisuudet

Rakenneteräksinä käytetään standardisoituja rakenneteräksiä. Suunnittelussa tarvittavat mekaaniset ominaisuudet on standardeissa annettu taattuina tai mitoitusarvoina (karakteristisina arvoina).

Myötörajana rakenneteräksillä pidetään standardista saatua alemman myötörajan arvoa. Aineen paksuuden vaikutus otetaan huomioon myötörajan arvossa.

Rakenneteräksen sallittu normaalijännitys määrätään siten, että varmuus alemman myötörajan suhteen on tavallisessa kuormitustapauksessa 1,50 ja harvinaisessa kuormitustapauksessa 1,30.

Rakenneteräksen sallittu leikkausjännitys samoin kuin niittien ja nivelpulttien sallitut jännitykset määrätään perusaineen sallitusta normaalijännityksestä teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa (standardi SFS 3200) annettujen kertoimien avulla.

Pulttien ja ankkuritankojen sallitut jännitykset määrätään teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa annetuista arvoista alemman myötörajan määräämässä suhteessa.

Hertzin kaavoista saatujen kosketusjännitysten sallitut arvot on annettu taulukossa IV 2.41, johon on teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa esiintyvien teräslaatuja lisäksi otettu muutamia muita.



Taulukko IV 2.41 Sallitut kosketusjännitykset (Hertz)

Teräs- laatu	Kuormitustapaus	
	Tavallinen	Harvinainen
GS 45	700 N/mm <sup>2</sup>	850 N/mm <sup>2</sup>
GS 52	850 "	1000 "
GS 60	980 "	1155 "
Fe 37	650 "	800 "
Fe 52	850 "	1000 "
Fe 60	985 "	1160 "
Fe 70	1155 "	1355 "
C 35	950 "	1200 "
C 45	1140 "	1440 "
C 60	1335 "	1690 "

Valuraudan ja teräsvalun sallitut jännitykset määrätään teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan.

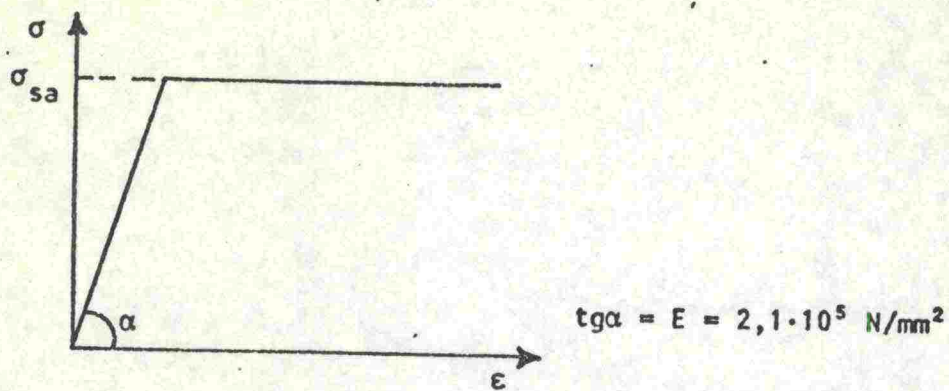
Tuuli- ja poikittaissiteissä sallitut jännitykset määrätään kuten muissakin rakennneosissa edellyttäen, että niiden saamat lisäjännitykset pääkannattajien mukana toimimisesta otetaan huomioon.

Teräsköysien kimmo- ja lujuusominaisuudet määrätään valmistajien antamien tietojen perusteella.

Teräsrakenteeseen liittyvän betoniosan, kuten laakerialustan tai liittopalkkisillan kannen, sallitut jännitykset määräytyvät betoni- ja teräsbetonirakenteita koskevien määräyksien tai jännitettyjen betonirakenteiden normien mukaan.

Kimmoteorian mukaan laskettaessa voidaan rakenneteräksen kimmokerroin otaksua vakioksi ( $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ ) alempaan myötörajaan asti. Murtotarkastelussa sekä vakavuustarkastelussa voidaan käyttää kuvan IV 2.41 mukaista ideaalista elastis-plastista jännitysvenymäkäyrää.





Kuva IV 2.41 Teräksen ideaalinen jännitysvenymäkäyrä

#### 2.42 Poikkileikkaussuureiden laskeminen

- Voimasuureita ja taipumia laskettaessa sekä vakavuustarkastelussa käytetään poikkileikkaussuureiden bruttoarvoja. Jännitystarkastelussa otetaan vetopuolella olevat niitin- tai pulttinreiät huomioon poikkipinnan vähennyksiä laskettaessa. Niitti-, ruuvi- ja kitkaliitosten reikävähennykset määrätään teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan.



## 2.43 Taivutettu ja puristettu sauva

### 2.431 Jännitystarkastelu sallittujen jännitysten avulla

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa on annettu taivutetun ja puristetun sauvan sallittujen jännitysten arvot epäyhtälöiden muodossa. Sallitut jännitykset määräytyvät hoikkuusluvun sekä taivutus- ja puristusjännitysten suhteen perusteella. Tällä tavalla määrätty sallittu jännitys saavat hyppäyksellisen muutoksen eri alueilla voimassaolevien epäyhtälöiden rajakohdissa. Seuraavassa on esitetty suunnitteluohjeiden arvojen perusteella määrätty kaavat sallittujen jännitysten määrittämiseksi. Epäjatkuvuuskohdissa on käytetty jännitysten keskiarvoa. Kuvassa IV 2.43 on esitetty sallittujen jännitysten kuvaajat eräille jännitysuhteille sekä sallitun jännityksen kaavassa esiintyvien kertoimien arvot (a,b,c). Sallittu jännitys määrätään seuraavasti:

$$\alpha = 0-0,20; \quad \sigma_{n \text{ sall}} = \frac{\sigma_{sa}}{1,5 (1+k)}$$

$$\alpha = 0,20-2,00;$$

$$\sigma_{n \text{ sall}} = a (\alpha-0,2)^3 + b (\alpha-0,2)^2 + c (\alpha-0,2) + \frac{1}{1,5 (1+k)} \sigma_{sa}$$

Kertoimien a, b ja c väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.

$$\text{Kun } \alpha \geq 2,00 \text{ on sallittu normaalijännitys } \sigma_{n \text{ sall}} = \frac{\sigma_{sa}}{2,3\alpha^2 + 1,5 k}$$

Muut käytetyt merkinnät ovat:

$\sigma_{sa}$  = alempi myötäraja

$\sigma_n$  = puristusjännitys normaalivoimasta

$\sigma_{tn}$  = reunajännitys poikittaisen kuorman aiheuttamasta taivutusmomentista ilman normaalivoimasta aiheutuvaa lisämomentin vaikutusta.

$\lambda = L/i$  = hoikkuusluku

$$k = \frac{\sigma_{tn}}{\sigma_n}$$

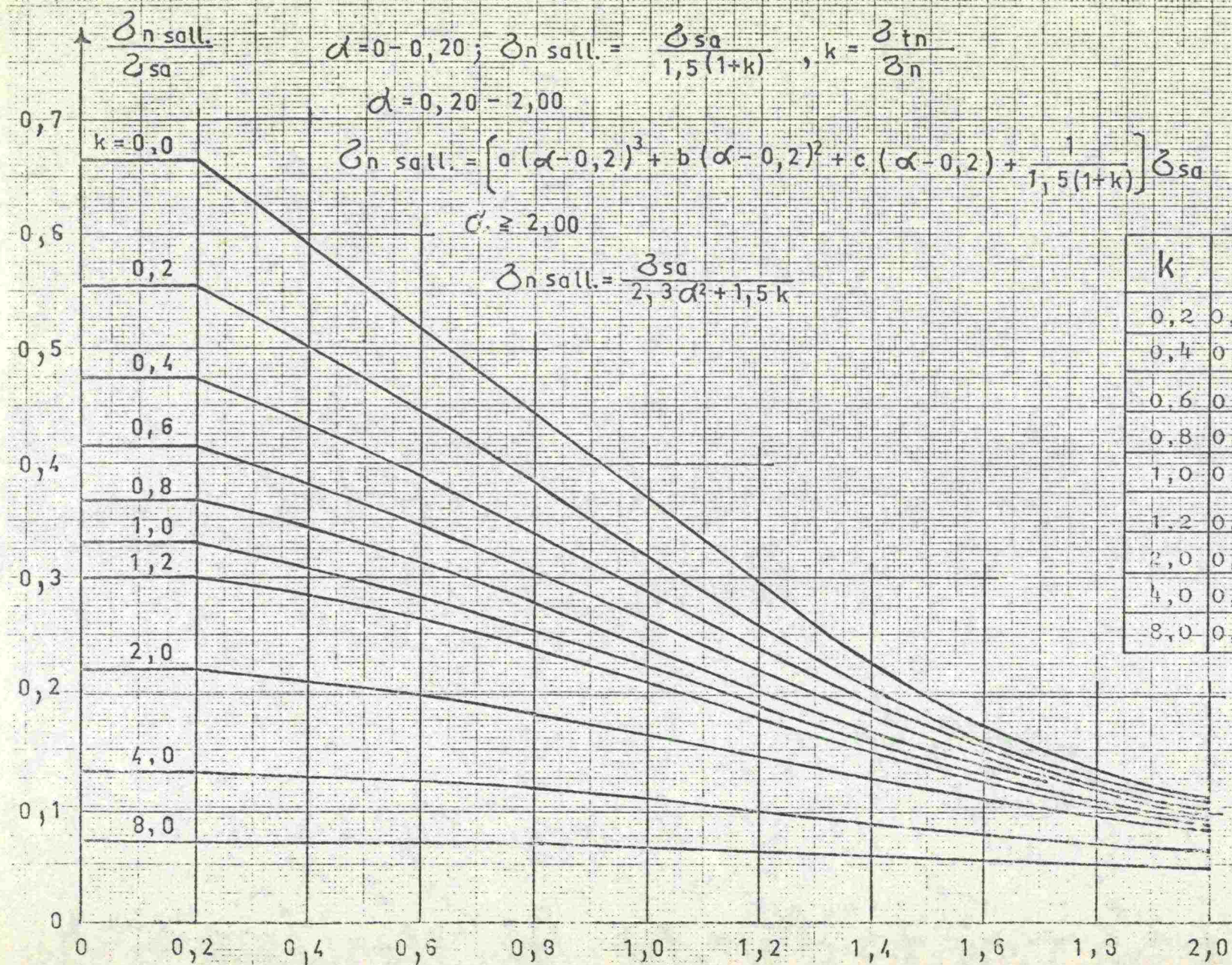
$$\alpha = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{sa}}{E}}$$

k:n arvoilla nolla ovat sallitut jännitykset teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan

$$\alpha = 0-0,20; \quad \sigma_{n \text{ sall}} = \frac{1}{1,5} \sigma_{sa}$$

$$\alpha = 0,20-1,33; \quad \sigma_{n \text{ sall}} = (0,741-0,372 \alpha) \sigma_{sa}$$





k	a	b	c
0,2	0,0645	-0,1262	-0,2320
0,4	0,0541	-0,1139	-0,1781
0,6	0,0480	-0,1080	-0,1361
0,8	0,0458	-0,1112	-0,0994
1,0	0,0434	-0,1115	-0,0730
1,2	0,0402	-0,1072	-0,0551
2,0	0,0257	-0,0765	-0,0233
4,0	0,0167	-0,0521	0,0023
8,0	0,0058	-0,0217	0,0055

$$\alpha = \sqrt{\frac{\delta_{sa}}{\delta_{el}}}$$

$$= \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\delta_{sa}}{E}}$$



$$\alpha \geq 1,33; \quad \sigma_{n \text{ sall}} = \frac{1}{2,3} \sigma_{el}, \text{ jossa}$$

$\sigma_{el}$  = Eulerin nurjahdusjännitys

$$\sigma_{el} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Harvinaisessa kuormitustapauksessa sallitaan 15 % suuremmat arvot.

Hitsauksen vaikutus sallittuihin jännityksiin

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa on annettu hitsausjännityksistä aiheutuva reduktio sallittuihin puristusjännityksiin. Edellä esitetyissä sallitun jännityksen arvoissa ei ole mukana hitsauksesta aiheutuvien alkujännitysten vaikutusta. Mikäli alkujännityksien suuruus  $\sigma_i > 0,4 \sigma_{sa}$  ja jännitysjakautuma on suunnilleen suunnitteluohjeiden mukainen, pienennetään edellämäärättyjä puristusjännityksen  $\sigma_{n \text{ sall}}$  arvoja seuraavasti:

$$\alpha = 0-0,20 \quad \text{reduktio } \delta\sigma = 0$$

$$0,2 < \alpha \leq 0,8, \quad \delta\sigma = (\alpha - 0,2) \frac{200}{1+2k}$$

$$0,8 < \alpha \leq 1,2, \quad \delta\sigma = (3 - 2,5 \alpha) \frac{120}{1+2k}$$

$$1,2 \leq \alpha \quad \delta\sigma = 0$$

#### 2.4311 Sauvan taivutus poikkileikkauksen edullisessa suunnassa

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa on annettu tällaista tapausta varten yksi epäyhtälö. Tällöin saadaan sallituiksi jännityksiksi seuraavat arvot:

$$\alpha = 0-0,20; \quad \sigma_{n \text{ sall}} = \frac{\sigma_{sa}}{1,5 (1+k)}$$

$$\alpha = 0,20-1,33;$$

$$\sigma_{n \text{ sall}} = \frac{0,741 - 0,372 \alpha}{1 + 1,5k(0,741 - 0,372\alpha)} \sigma_{sa}$$

$$\alpha > 1,33; \quad \sigma_{n \text{ sall}} = \frac{\sigma_{sa}}{2,3\alpha^2 + 1,5k}$$

#### 2.432 Jännitystarkastelu varmuuskertoimien avulla

Puristavan normaalivoiman ja taivutusmomentin rasittaman sauvan jännitystarkastelussa tulee ottaa huomioon sauvan taipumasta aiheutuva lisätaivutusmomentti sen ohella, joka syntyy yksinomaan poikittaiskuormasta, alkupäkeskeisyydestä tai alkukaarevuudesta. Lisämomentin voidaan laskea likimäärin seuraavan kaavan avulla:



$$\Delta \bar{M} = M_1 \frac{\beta}{\frac{N_n}{vN} - 1},$$

Lisämomentin suuruus sauvan eri kohdissa saadaan kaavasta

$$\Delta M = k_1 \Delta \bar{M}$$

missä  $M_1$  = poikittaiskuormasta, alkuepäkeskeisyydestä tai alkukaarevuudesta johtuva taivutusmomentti

$\beta$  = taivutusmomentin  $M$  jakautumisesta riippuva kerroin

$v$  = varmuuskerroin

$k_1$  = lisämomentin jakautumisesta riippuva kerroin

$N_n$  = sauvan nurjahdusvoima

$N$  = sauvassa vaikuttava normaalivoima

Taulukossa IV 2.432 on esitetty tekijöiden  $M_1$ ,  $\beta$  ja  $k_1$ -arvot eräille kuormitus-tapauksille.

Lisämomentin lausekkeen perusteella superpositioperiaate on voimassa poikittais-kuorman, alkuepäkeskeisyyden ja alkukäyristykseen suhteen, mutta ei normaali-voimaan nähden. Tämän vuoksi tarkastelussa tulee kuormat kertoa varmuuskertoimella  $v$ . Näin lasketut jännitykset eivät saa ylittää alempaa myötörajaa. Jännitykset voidaan laskea seuraavan kaavan mukaan:

$$\sigma = \frac{vN}{A} \pm \frac{v(M+\Delta M)}{W} \leq \sigma_{sa}$$

missä  $A$  = sauvan poikkileikkausala

$W$  = sauvan puristetun reunan taivutusvastus

Nurjahdusvoima  $N_n$  voidaan laskea seuraavasti:

$$N_n = A \cdot \sigma_{kr}$$

missä  $\sigma_{kr}$  = nurjahdusjännitys

Mikäli rakenteen nurkkien siirtymät eivät ole estetyt, tulee tämä ottaa laskelmissa huomioon.

Jos edellä valitaan varmuuskertoimeksi vakio arvo esim.  $v = 1,50$ , edellyttää tämä, että kysymyksessä on alkujännityksistä vapaa sauva ja edellä esitetyissä momenttien arvoissa on otettu huomioon myös alkuepäkeskeisyyden ja alkukäyrityksen vaikutus. Käytännössä puristussauvoissa on myös alkujännityksiä, joiden vaikutus sauvan kantokykyyn riippuu esim. sauvan hoikkeudesta. Edellisen perusteella varmuuskertoimen valinnassa on tunnettava myös alkujännitysten vaikutus.



Kohdassa 2.431 esitetyissä sallittujen jännitysten arvoissa on otettu alkujännitysten, alkuepäkeskeisyyden ja alkukäyryyden normaalit arvot huomioon ja sauva mitoitetaan näitä arvoja käyttäen kuten suora, keskeisesti puristettu sauva, mikäli alkukäyryys ei ole suurempi kuin 1/600 ja rakenteen toimintatavan perusteella normaalivoiman voidaan olettaa vaikuttavan sauvan painopisteakselilla.

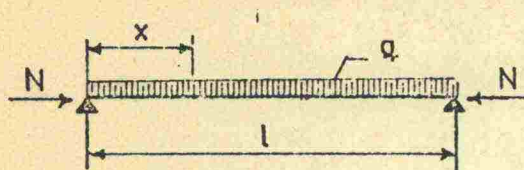
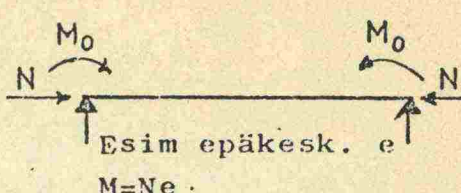
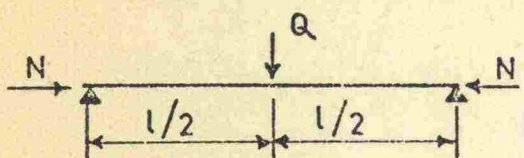
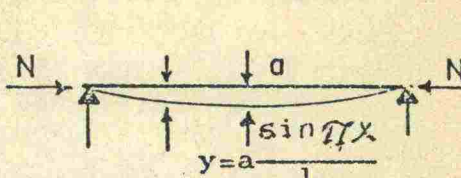
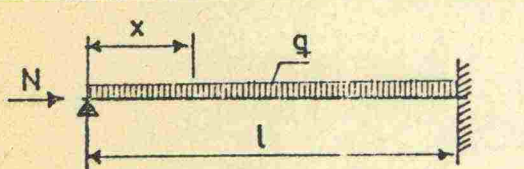
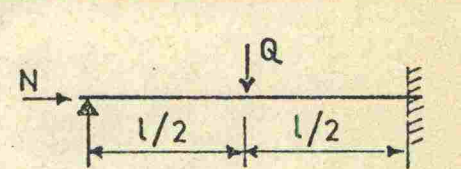
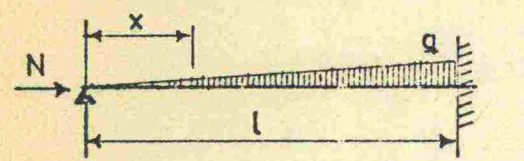
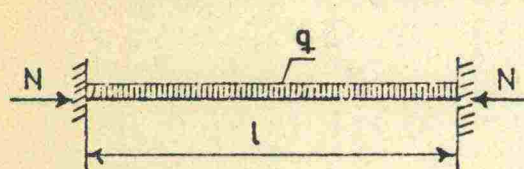
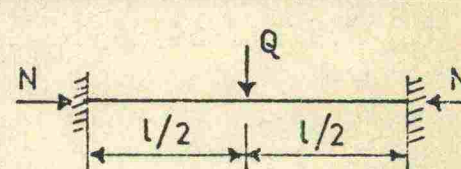
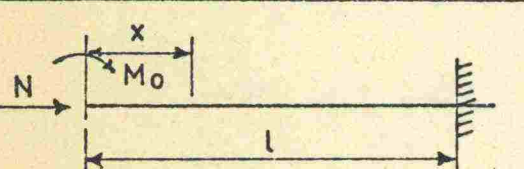
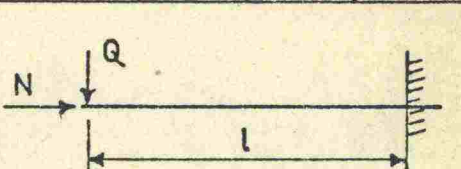
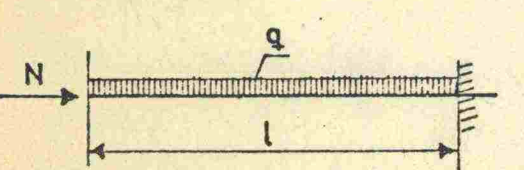
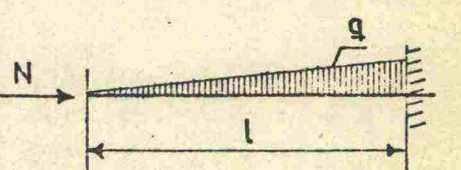
Esimerkki varmuuskertoimen vaihtelusta on esitetty kuvassa IV 2.432. Varmuuskerroin on määrätty siten, että saadaan teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaiset sallittujen jännitysten arvot  $\sigma_n$  ja  $\sigma_{tn}$ .

Poikittaiskuormana on tasainen kuorma. Teräslaatu on Fe 37,

$$\sigma_{sy} = 240 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{sa} = 220 \text{ N/mm}^2.$$

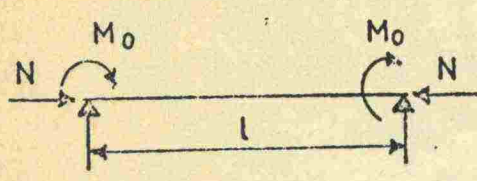
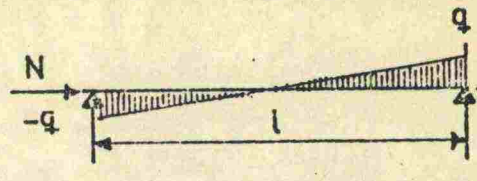


Taulukko IV 2.432 Arvot  $M_1$ ,  $\beta$  ja  $k_1$  taivutetulle ja puristetulle sauvalle eräissä kuormitustapauksissa

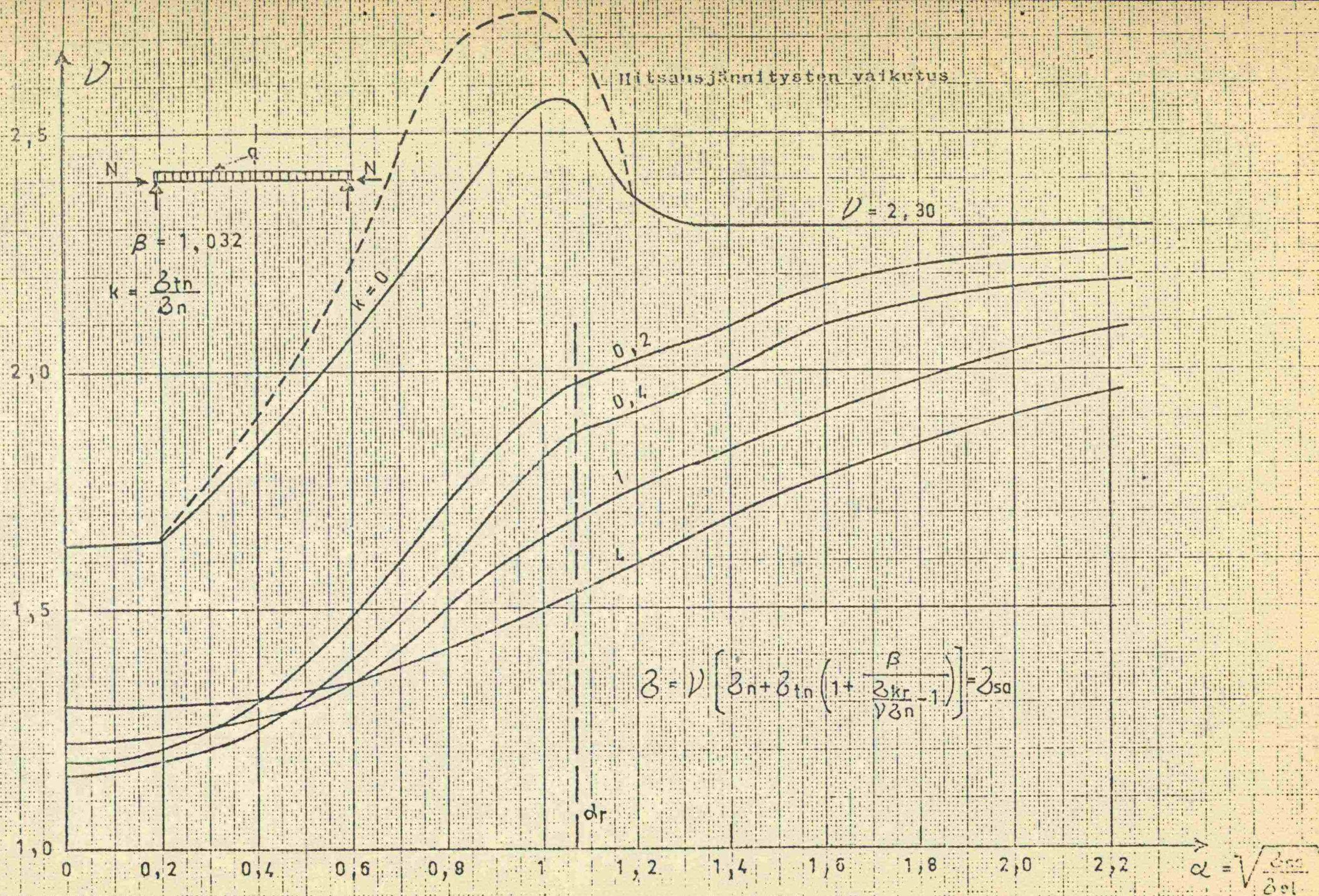
Kuormitustapaus		$M_1$ $\beta$	Kuormitustapaus					$M_1$ $\beta$		
1		$\frac{q l^2}{8}$ 1,032	3	 Esim epäkesk. e $M=Ne$					$M_0$ 1,273	
2		$\frac{Q l}{4}$ 0,811	4	 $y=a \frac{\sin \pi x}{l}$					$N a$ 1	
$k_1$ :n arvo tapauksille 1-4		x	1/8 l	1/4 l	3/8 l	1/2 l				
		$k_1$	0,3827	0,7071	0,9239	1,0000				
5		$\frac{q l^2}{8}$ 0,631	7						$\frac{3 Q l}{16}$ 0,704	
6		$\frac{q l^2}{15}$ 0,507								
$k_1$ :n arvo tapauksille 5-7		x	1/8 l	1/4 l	3/8 l	1/2 l	5/8 l	3/4 l	7/8 l	l
		$k_1$	0,5324	0,9010	0,9936	0,7813	0,3291	-0,2238	-0,7523	-0,5754
8		$\frac{q l^2}{12}$ 0,608	9						$\frac{Q l}{8}$ 0,811	
$k_1$ :n arvot tapauksille 8-9		x	1/8 l	1/4 l	3/8 l	1/2 l				
		$k_1$	-1,0000	-0,7071	0,7071	1,0000				
10		$M_0$ 1,273	12						$-Q l$ 0,811	
11		$-\frac{q l^2}{2}$ 0,589	13						$-\frac{q l^2}{6}$ 0,461	



Taulukko IV 2.432 jatko

$k_1$ :n arvot tapauksille 10-13		$x$ $k_1$	$1/8 l$	$1/4 l$	$3/8 l$	$1/2 l$	$5/8 l$	$3/4 l$	$7/8 l$	$l$
			0,1951	1,3827	0,5556	0,7071	0,8315	0,9239	1,9808	1,0000
14		$M_0$ 0,637	15		$\frac{\sqrt{3} Q l}{27}$ 1,006					
$k_1$ :n arvot tapauksille 14-15		$x$ $k_1$	$1/8 l$	$1/4 l$	$3/8 l$	$1/2 l$	$5/8 l$	$3/4 l$	$7/8 l$	$l$
			0,7071	1,000	0,7071	0	-0,7071	-1,0000	-0,7071	-1,0000





Kuva IV 2.432 Teräsrakenteiden suunnitteluohjeen (standardi n:o SFS 3200) sallittuja jännityksiä vastaavat varmuuskertoimet taivutetulle ja puristetulle saualle



#### 2.44 Vakavuustarkastelu

##### 2.441 Nurjahdus

Puristussauvojen nurjahdustarkastelu voidaan ristikoiden ja sekundääristen rakenneosien osalta yleensä suorittaa teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan. Kehärakenteisiin ja kaariin voidaan soveltaa myös em. suunnitteluohjeita silloin, kun tarkempaa laskutapaa ei katsota tarpeelliseksi. Nurjahduspituudet voidaan tällöin laskea DIN 4114:n mukaan tai tarkastelemalla pienintä kriittistä kuormaa vastaavaa nurjahdusmuotoa olettaen nurjahduksen tapahtuvan kimmoisella alueella. Kehän nurkkien mahdolliset sivusiirtymät tulee ottaa huomioon yksittäisten sauvojen nurjahduspituuksia määrittäessä. Kun nurjahdustarkastelun kohteena on rakenneosa, jonka nurjahtaessa koko rakenne menettää kantokykynsä, on paikallaan käyttää tarkempaa laskutapaa, jonka avulla rakenneosan reunaehdot, poikkileikkausmuoto sekä jännitysten ja muodonmuutosten välinen suhde voidaan ottaa huomioon todellisuuden mukaisina. Varmuuden nurjahdusta vastaan tulee tällöin täyttää teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaiset vaatimukset.

Hoikkuusluku  $\lambda$  ei saa pääkannattajissa olla suurempi kuin 170 eikä sekundääriosissa suurempi kuin 200.

##### 2.442 Kiepahdus

Kiepahdusilmiön esiintyessä palkki taipuu kohtisuoraan kuormitustasoaan vastaan ja samalla vääntyy. Kiepahdusvaara esiintyy sivusuunnassa riittämättömästi tuetuilla palkeilla, joiden taivutusjäykkyys poikkisuunnassa ja vääntöjäykkyys ovat pienet.

Varmuus kiepahdusta vastaan on tarpeen määrätä erityisesti kuormitustilanteissa, jotka esiintyvät rakennustyönaikana ennen kuin palkkia on tuettu sivusuunnassa. Laskennallinen tarkastelu voidaan yleensä suorittaa teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan.

Varmuuden kiepahdusta vastaan voidaan katsoa olevan riittävän, mikäli palkin puristetussa laipassa

$$\frac{l}{i} \leq 40,$$

missä  $l$  = puristuslaipan tukimispisteiden väli  
 $i$  = " hitaussäde

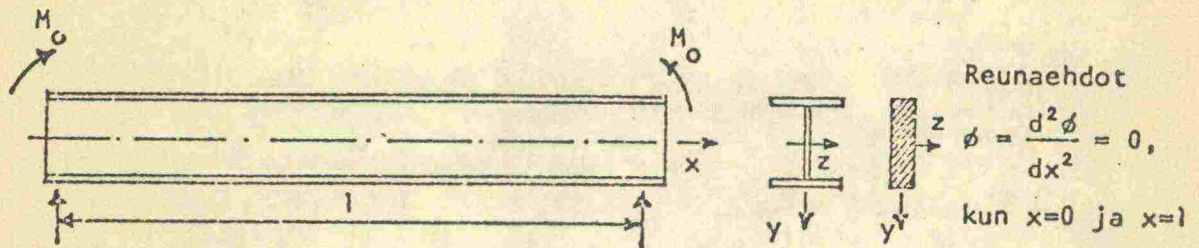
Jos  $\frac{l}{i} \geq 40$  on varmuus kiepahdusta vastaan tutkittava tarkemmin ottamalla huomioon todelliset reunaehdot.



Käytettäessä teräsrakenteiden suunnitteluohjeita, on määritettävä kimmoteorian mukaan lasketusta kiepahduskuormasta aiheutuva reunapuristusjännitys  $\sigma_{el}$ .

Seuraavassa on esitetty kiepahduskuorma<sup>n/</sup>arvoja eräille kuormitus- ja tukemistapauksille kahden akselin suhteen symmetrisille poikkipinnoille.

Tapaus a: Vakiotaivutusmomentin kuormittama palkki



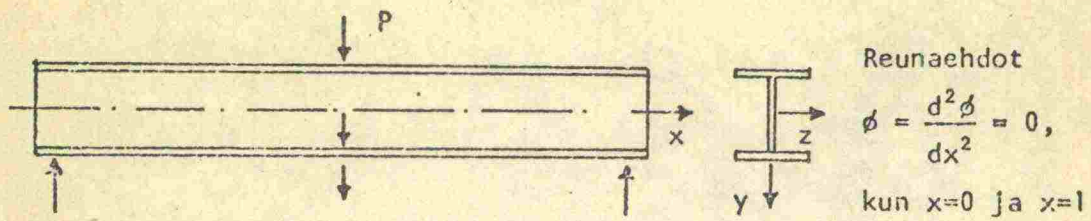
$$M_{okr} = \frac{\gamma_1 \cdot \sqrt{EI_Y \cdot C}}{l}; \quad \gamma_1 = \sqrt{1 + \frac{C_1}{C} \frac{\pi^2}{l^2}}$$

jossa

$\frac{l^2 C}{C_1}$	0	0,1	1	2	4	6	8	10	12
$\gamma_1$	$\infty$	31,4	10,36	7,66	5,85	5,11	4,70	4,43	4,42
$\frac{l^2 C}{C_1}$	16	20	24	28	32	36	40	100	$\infty$
$\gamma_1$	4,00	3,83	3,73	3,66	3,59	3,55	3,56	3,29	$\pi$



Tapaus b: Pistekuorman kuormittama palkki



$$P_{kr} = \gamma_2 \frac{\sqrt{EI_y C}}{l^2}$$

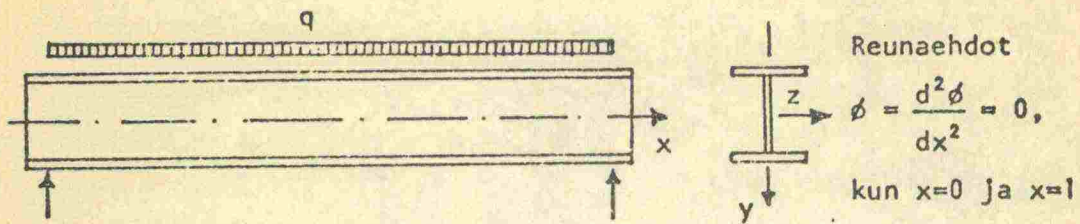
Seuraavassa taulukossa on annettu  $\gamma_2$ :n arvoja parametrin  $\frac{l^2 C}{C_1}$  funktiona

Kuorman sijainti	$\frac{l^2 C}{C_1}$						
	0,4	4	8	16	24	32	48
Ylälaipalla	51,5	20,1	16,9	15,4	15,0	14,9	14,8
Keskellä	86,4	31,9	25,6	21,8	20,3	19,6	18,8
Alalaipalla	147	50,0	38,2	30,3	27,2	25,4	23,5

Kuorman sijainti	$\frac{l^2 C}{C_1}$						
	64	80	96	160	240	320	400
Ylälaipalla	15,0	15,0	15,1	15,3	15,5	15,6	15,8
Keskellä	18,3	18,1	17,9	17,5	17,4	17,2	17,2
Alalaipalla	22,4	21,7	21,1	20,0	19,3	19,0	18,7



Tapaus c: Tasaisen kuorman kuormittama palkki



$$(q l)_{kr} = \gamma_3 \sqrt{\frac{E I_y \cdot C}{l^2}}$$

Seuraavassa taulukossa on annettu  $\gamma_3$ :n arvoja parametrin  $\frac{l^2 C}{C_1}$  funktiona.

Kuorman sijainti	$\frac{l^2 C}{C_1}$						
	0,4	4	8	16	24	32	48
Ylälaipalla	92,9	36,3	30,4	27,5	26,6	26,1	25,9
Keskellä	143	53,0	42,6	36,3	33,8	32,6	31,5
Alalaipalla	233	77,4	59,6	48,0	43,6	40,5	37,8

Kuorman sijainti	$\frac{l^2 C}{C_1}$						
	64	80	128	200	280	360	400
Ylälaipalla	25,9	25,8	26,0	26,4	26,5	26,6	26,7
Keskellä	30,5	30,1	29,4	29,0	28,3	28,6	28,6
Alalaipalla	36,4	35,1	33,3	32,1	31,3	31,0	30,7

Edellisissä kaavoissa käytetyt merkinnät ovat:

$\phi$  = vääntökulma

$E I_y$  = poikittainen taivutusjäykkyys

$C = G I_t$  = vääntöjäykkyys

$C_1 = E C_w$  = käyristymisjäykkyys

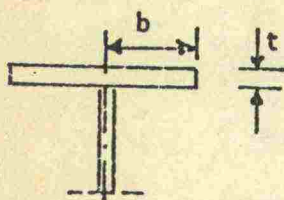


## 2.443 Lommahdus

Palkin tai puristussauvan, levystä muodostettujen osien varmuus lommahdusta vastaan on osoitettava laskelmilla. Lommahdustarkastelu voidaan suorittaa esim. teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan. Tällöin erotetaan seuraavat lommahdustapaukset:

### 2.4431 Reunaltaan vapaan rakenneosan lommahdus

Tämä tapaus koskee esim. levykannattajan puristuslaippaa.



Teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa on annettu tämän tapauksen sallitut jännitykset tekijän  $\alpha = \sqrt{\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_{el}}}$  funktiona. Arvoon  $\alpha = 0,70$  saakka on sallittu jännitys sama kuin sallittu taivutusjännitys  $\sigma_{sall} = \frac{\sigma_{sa}}{1,5}$ .

Tämä vastaa suhdetta  $b/t = 0,44 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{sa}}}$ . Suunnitteluohjeissa on myös mainittu, ettei vapaareunaisia osia saa yleensä tehdä suuremmille  $b/t$ -arvoille kuin  $0,66 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{sa}}}$ . Tätä arvoa vastaa sallitun jännityksen arvo  $\sigma_{sall} = 0,49 \sigma_{sa}$ , joka on 73 % sallitusta taivutusjännityksestä.

### 2.4432 Neljältä sivulta tuetun rakenneosan lommahdus

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeissa on annettu sallittujen jännitysten arvot hoikkuutta kuvaavan tekijän  $\alpha = \sqrt{\frac{\sigma_{sa}}{\sigma_{el}}}$  funktiona. Määrittäessä kimmoteorian

mukaista lommahdusjännitystä  $\sigma_{el} = k_{\sigma} \cdot \sigma_e$  ja vast.  $\tau_{el} = k_{\tau} \cdot \sigma_e$ , on siltarakenteissa käytettävä sulkeissa annettuja (pienempiä)  $k$ :n arvoja. Suunnitteluohjeissa on annettu sallitun jännityksen arvot, jotka muuttuvat välillä  $\alpha = 0,80-1,49$  suoraviivaisesti siten, että  $\alpha$ :n arvolla 1,49 ovat sallittujen jännitysten arvot 1/1,3-kertaiset kimmoteorian mukaan lasketut lommahdusjännitysten arvot. Teräksisen kotelopalkkisillan paarrelevyn lommahdustarkastelussa on syytä käyttää suurempaa varmuuskerrointa ja tällöin sallittujen jännitysten arvot on esitetty taulukossa IV 2.4432.



Taulukko IV 2.4432 Sallittujen jännitysten arvot kotelopalkkisillan paarre-  
levyn lommahdustarkastelussa

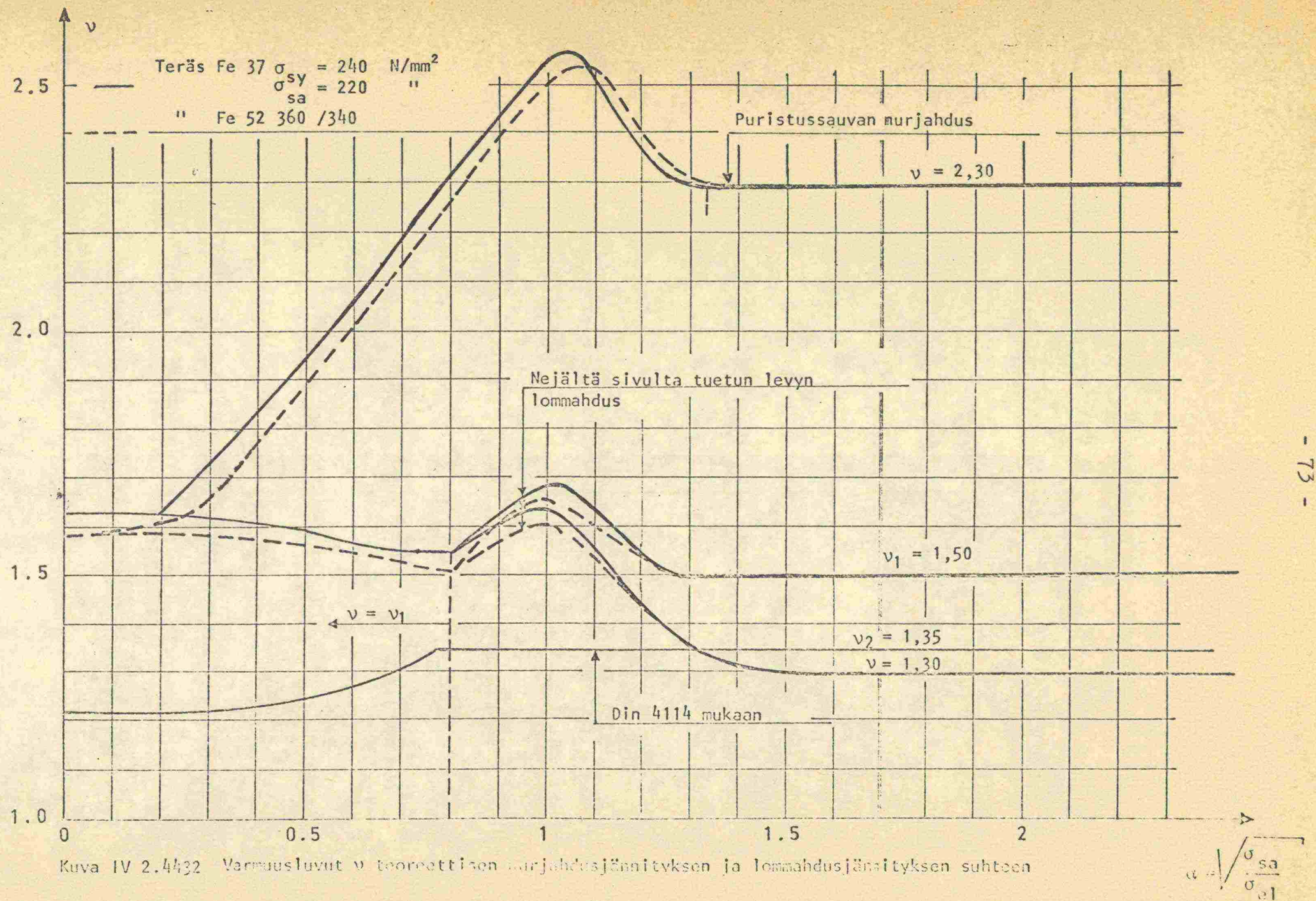
$\alpha_1, \alpha_2$ ja $\alpha_3$	$\sigma_1$ sall	$\tau$ sall	$\sigma^{\text{vert.}}$ sall
$0 \leq \alpha \leq 0,68$	$1/1,5 \sigma_{sa}$	$0,385 \sigma_{sa}$	$0,733 \sigma_{sa}$
$0,68 < \alpha \leq 0,80$	$1/1,5 \sigma_{sa}$	$0,385 \sigma_{sa}$	$(1,104 - 0,547\alpha_3) \sigma_{sa}$
$0,80 < \alpha \leq 1,35$	$(1,104 - 0,547\alpha_1) \sigma_{sa}$	$(0,637 - 0,316\alpha_2) \sigma_{sa}$	$(1,104 - 0,547\alpha_3) \sigma_{sa}$
$1,35 < \alpha$	$1/1,5 \sigma_1 \text{ el}$	$1/1,5 \tau_{el}$	$1/1,5 \sigma_{el}^{\text{vert.}}$

Kuvassa IV 2.4432 on esitetty suunnitteluohjeiden mukaiset varmuuskertoimien arvot  $v$  ja edellä esitettyjä sallittuja jännityksiä vastaavat varmuuskertoimien arvot  $v_1$  sekä DIN 4114 mukaiset arvot  $v_2$  teoreettisen lommahdusjännityksen suhteen teräksille Fe 37 ja Fe 52. Kuvassa on esitetty vertailun vuoksi myös suunnitteluohjeiden sallittuja jännityksiä vastaavat varmuuskertoimien arvot teoreettisen nurjahdusjännityksen suhteen. Edellisen perusteella teräksinen kotelopalkkisilta mitoitetaan siten, että uumalevyn sallittuina jännityksinä käytetään teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaisia arvoja ja puristetun paarrelevyn sallittuina jännityksinä käytetään edellä esitettyjä pienempiä sallittuja jännityksiä. Tällöin jäykisteille annetaan niin suuri jäykkyys, että jokainen kenttä neljän jäykistävän rakenne-elementin välissä voidaan käsitellä erikseen teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaan. Jäykisteiden vähimmäisjäykkyys määrätään esim. DIN normien mukaan.

Vaihtoehtoisesti voidaan jäykisteet valita siten, että niiden jäykkyys on pienempi kuin edellä mainittu vähimmäisjäykkyys, jolloin jäykisteet vaikuttavat lommahduskuorman kokonaisuudessaan. Lommahdustarkastelu voidaan tällöin suorittaa esim. teoksien Klöppel/Scheer: "Beulverte ausgesteifter Rechteckplatten". Berlin 1960, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. Klöppel/Scheer/Möller: "Beulverte ausgesteifter Rechteckplatten". Band II, Berlin 1968 Wilhelm Ernst und Sohn.

Pohjalevyn ja pituusjäykisteiden muodostama rakenne on verrattavissa puristus-sauvaan etenkin leveiden paarteiden ollessa kysymyksessä ja edellä esitetyissä molemmissa menetelmissä on lommahdustarkastelun lisäksi tarkasteltava paarre-levyn ja pituusjäykisteiden muodostamaa systeemiä myös puristussauvana ja tällöin rajatapauksessa (leveä paarre) eivät paarteen jännitykset saa ylittää teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden mukaisia puristussauvan sallittuja jännityksiä tai varmuuskertoimet eivät saa alittaa kuvassa IV 2.4432 esitettyjä puristussauvan varmuuskertoimien  $v$ -arvoa.





Kuva IV 2.4432 Varmuusluvut  $v$  teoreettisen murjahdusjännityksen ja lommahdusjännityksen suhteen



Mikäli poikkikannattajien jäykkyys pääkannattajien välillä on suuri, voidaan nurjahdustarkastelu suorittaa päistään nivelöitynä sauvana poikkikannattajien välillä, jolloin kuormituksena on muuttuva purustusvoima. Mikäli poikkikannattajien jäykkyys on niin pieni, että taipumilla on merkitystä, on tämä otettava huomioon nurjahduspituutta määrättäessä.

#### 2.4433 Puristussauvaan kuuluvan osan lommahdus

Puristussauvaan kuuluvan levyn lommahdus määrätään myös edellisen perusteella. Mikäli puristussauvaan vaikuttaa myös taivutusmomentti, tulee tästä aiheutuvat jännitykset laskea yhteen normaalivoimasta aiheutuviin jännityksiin. Vapaareunaisen rakenneosan jännitykset määrätään kohdan 2.4431 mukaan. Neljältä reunalta tuetun levyn osalta käytetään edellä esitettyjä pienempiä sallitun jännityksen arvoja tai suurempia varmuusluvun  $v$ -arvoja. Koko sauvapoikkileikkaus mitoitetaan taivutettuna ja puristettuna sauvana kohdan 2.43 mukaan.



#### 2.45 Väsytyslujuus

Rakenneosa on suunniteltava väsytyskuormitettuna, kun sillan oletettuna käyttö-aikana jännitys nousee mitoituksen määräävään arvoon vähintään  $10^5$  kertaa, mikäli rajajännitysten suhde  $\mu < 0$ . Edellä mainittujen ehtojen mukainen kuormitus voi käytännössä esiintyä silloin, kun yksi raskas ajoneuvo aiheuttaa rakenneosaan mitoituksen määräävät jännitykset ts. lähinnä sillan primäärisesti kuormitetuissa osissa. Väsytysmurtuman vaara voi olla olemassa myös silloin, kun sillan rakenneosilla on voimakas taipumus taivutusvärähtelyyn.

Väsytysmurtuma esiintyy yleensä rakenteen sellaisessa kohdassa, jossa on olemassa lovivaikutuksesta johtuva jännityshuippu.

Tällaisia kohtia on erityisesti liitokset, hitsisaumat ja kohdat, joissa poikkileikkaus muuttuu jyrkästi. Mikäli jännityshuippuja ei rakenteellisin keinoin pystytä välttämään, on em. kuormitusolosuhteiden vallitessa kyseinen kohta rakenteesta mitoitettava väsytysmurtumaa vastaan. Ellei tarkempia menetelmiä käytetä, voidaan laskelmat suorittaa teräsrakenteiden suunnitteluohjeiden ja teräsrakenteiden hitsiliitosten laskentaohjeiden (SFS 2373) mukaan.

#### 2.46 Liitosten mitoitus

Liitosten lujuuden tulee yleensä olla vähintään yhtä suuri kuin rakenteen vastaavassa kohdassa. Jos rakenteen poikkileikkaus muuttuu liitoksen kohdalla, saa liitoksen mitoittaa pienemmän poikkileikkauksen lujuutta vastaavaksi.

#### 2.47 Taipumat

Hyötykuorman aiheuttamat taipumat saavat olla enintään  $1/500$  jännemitasta, paitasi ulokkeissa enintään  $1/350$  ulokkeen pituudesta. Rakenteelle annetaan kohotus, joka vastaa oman painon aiheuttamaa taipumaa. Erikoistapauksissa voidaan näistä ohjeista poiketa TVH:n harkinnan mukaan.



#### 4. Tukirakenteet

##### 4.1 Perustukset

##### 4.11 Maanvarainen perustus

##### 4.111 Sallitut pohjarasitukset

Sallitut pohjarasitukset määrittää yleensä geoteknillinen asiantuntija pohjatutkimuksen perusteella kussakin tapauksessa erikseen. Geoteknillisen asiantuntijan lausunnon puuttuessa voidaan mitoituksessa käyttää Pohjarakennuksen normeissa annettuja eri maalajien sallittuja pohjarasituksen arvoja.

##### 4.112 Pohjapaineen jakautuminen

Laskelmissa voidaan yleensä olettaa pohjapaineen jakautuvan suoraviivaisesti peruslaatan alapuolella. Em. olettamusta ei voida tehdä silloin, kun peruslaatan talpumilla on merkitystä pohjapaineen jakautumiseen.

##### 4.113 Kuormien resultantin paikka

Epäkeskeisen kuormituksen resultantin joutuessa peruslaatan sydänkuvion ulkopuolelle saa laatan ja maapohjan välisestä kosketuspinnasta ottaa huomioon ainoastaan sen osan, jossa esiintyy puristusta. Resultantin tulee leikata perustuksen alapinta siten, että leikkauspisteen etäisyys  $e$  perustuksen reunasta täyttää seuraavat ehdot:

- kalliopohjaisessa perustuksessa tavallisessa kuormitustapauksessa  $e \geq 0,40 a$  ja harvinaisessa kuormitustapauksessa  $e \geq \frac{a}{3}$ , jolloin  $a$  tarkoittaa perustuksen pohjapinnan painopisteakselin etäisyyttä perustuksen ko. reunasta
- irtomaalajien varassa olevassa perustuksessa tulee resultantin tavallisessa kuormitustapauksessa pysyä pohjapinnan sydänkuvion sisäpuolella ja harvinaisessa kuormitustapauksessa  $e \geq 0,40 a$ .

##### 4.114 Varmuus

Tukirakenteen varmuuden kaatumista vastaan tulee olla vähintään 1,5. Mikäli edellisessä kohdassa esitetyt resultantin epäkeskeisyyttä koskevat rajoitukset ovat täytetyt ja peruslaatta on asianmukaisesti mitoitettu, saa varmuutta kaatumista vastaan laskettaessa olettaa, että rakenne kaatuessaan pyörii perustuksen kärkipisteen kautta kulkevan akselin ympäri.

Varmuuden liukumista vastaan tulee olla tavallisessa kuormitustapauksessa vähintään 1,5 ja harvinaisessa kuormitustapauksessa vähintään 1,3. Perustustason kaltevuus tulee ottaa huomioon laskettaessa varmuutta liukumista vastaan. Jos tarkempia tuloksia ei ole saatavissa, voidaan maapohjan ja perustuksen väliselle kitkakertoimelle  $f$  (murtotilassa) käyttää seuraavia arvoja:



- hiekkamoreeni ja soramoreeni

$f = 0,75$

- hietä ja hietamoreeni

$f = 0,60$

#### 4.115 Perustuksen siirtymät

Perustuksen ja laakeritason siirtymät tulee määrätä ainakin pysyvästä kuormista elleivät siirtymät ole maapohjan laadun vuoksi vähäiset. Kannatinrakenteen perustusten siirtymistä saamat rasitukset määrätään laskettujen siirtymien avulla ottaen huomioon se, mitä kohdassa II 4.3 on sanottu. Lyhytkaisten kuormien aiheuttamia perustusten siirtymiä ja kiertymiä ei tarvitse ottaa huomioon.

Kannatinrakenteen kiinnittyessä jäykästi perustuksiin, kuten esimerkiksi jäykkäkantaisissa kaarissa ja kehlissä, on rakennetta käsiteltävä laskelmissa kokonaisuutena, jonka kimmoyhtälössä perustusten siirtymät otetaan reunaehdoissa huomioon. Tällöin saattaa rajatapauksena tulla kysymykseen tilanne, jossa pysyvien kuormitusten kiinnitysmomentti häviää.

#### 4.12 Paalutus

##### 4.121 Sallitut paalukuormat

Puupaalun pinta-ala lasketaan yleensä sen latvaläpimitan mukaan. Paalujen jatkamiseen on käytettävä Tie- ja vesirakennushallituksen hyväksymiä jäykkäjätkoksia, jolloin jatketuille paalulle sallitaan sama puristusjännitys kuin jatkamattomallekin.

Lyöntipaalujen sallittu paalukuorma määräytyy lyöntipaalutusohjeiden paalutusluokkien mukaan. Paalutusluokka ilmoitetaan suunnitelmassa. Teräsbetonipaaluja käytettäessä pyritään yleensä paalutusluokkaan II. Mikäli lyöntipaalutusohjeiden vaatimuksia ei voida täyttää tai milloin kysymyksessä on puupaalutus, käytetään paalutusluokan III sallittuja arvoja. Paalutusluokan I mukaisia paalutuksia voidaan käyttää erikoistapauksissa TVH:n maatumkimustoimiston harkinnan mukaan. Paikallaan valettujen paalujen sallittu paalukuorma määrätään kussakin tapauksessa erikseen.

Tukipaalun ei voida yleensä otaksua ottavan vastaan vetovoimia. Kitka- tai koheeslopaalun sallittu lyhytkaikainen vetorasitus määrätään kussakin tapauksessa erikseen pohjatutkimuksen perusteella, kuitenkin se ei saa ylittää  $\frac{1}{5}$  paalua ympäröivän maan aiheuttamasta kitka- tai koheesiovastuksesta paalua ylösvedettäessä. Jos paaluun aiheutuu vetovoimia, on paaluantura ja sen kiinnitys mitoitettava kestämiään esiintyvät vetovoimat.



#### 4.122 Paaluperustuksen vakavuus

Paalun ja paaluryhmän nurjahdusmahdollisuus esiintyy tapauksissa, joissa paalua ympäröi suurelta osalta vesi, lieju tai maalaji, jonka sivuvastus on hyvin pieni. Nurjahduskuormaa määrättäessä saa väliaikseen sivuvastuksen ottaa huomioon, mikäli se pohjatutkimuksen perusteella tunnetaan. Laskelmissa yksittaisen paalun nurjahdustarkastelussa voidaan olettaa teräsbetonipaalu jäykästi kiinnitetyksi paaluanturaan, kun taas puupaalu oletetaan yläpäästään nivelöidyksi. Paalun nurjahduspituus arvioidaan pohjatutkimuksen perusteella. Niissä tapauksissa, joissa paalun nurjahdustarkastelu on tarpeellinen, on välttämätöntä myös määrätä paalun alkukäyristyksestä tai jatkoksissa esiintyvistä kulmanmuutoksesta johtuva taivutusrasitus, jolloin voidaan soveltaa periaatteessa samaa menettelyä kuin kohdassa IV 2.43.

#### 4.123 Paaluvoimien laskeminen

Paaluvoimia laskettaessa voidaan yleensä tehdä seuraavat olettamukset:

- paaluantura on täysin jäykkä
- paaluanturan ja maan välillä vaikuttavaa pohjapainetta ei oteta huomioon
- paalujen ympärillä oleva maamassa ei aiheuta paaluihin taivutusta
- paalut ovat päistään nivelellisesti kiinnitetyt
- paalut ovat tasapaksuja ja niiden materiaali noudattaa Hooken lakia
- paaluryhmän painopisteen siirtymät voidaan paaluvoimia laskettaessa jättää huomioon ottamatta

Paalujen erilaiset pituudet tulee ottaa huomioon, mikäli ne polkkeavat toisistaan huomattavasti. Mikäli paalutusta ympäröivän maamassan kokoonpuristumisesta aiheutuu paaluihin toispuolista sivupainetta, on sen vaikutus paaluvoimiin ja paalujen saamiin taivutusrasituksiin erikseen tarkistettava.

Käytettäessä paikallaan valettuja paaluja, on tarvittaessa otettava huomioon paalujen kiinnityksen vaikutus paaluanturaan sekä määrättävä paaluihin vaikuttavan normaalivoiman lisäksi paalujen saama taivutusmomentti, leikkausvoima ja mahdollinen vääntömomentti.

Mitoituksen kannalta määrättävien paalujen osalta tulee esittää eriteltyinä ainakin seuraavat paaluvoimat:

- pysyvien kuormien aiheuttama paaluvoima
- suurin paaluvoima tavallisessa ja harvinaisessa kuormitustapauksessa
- pienin (suurin vetorasitus) paaluvoima tavallisissa ja harvinaisissa kuormitustapauksissa



Paaluryhmää muodostettaessa tulee pyrkiä saamaan pysyvästä kuormista johtuvat paaluvoimat mahdollisimman samansuuruisiksi. Lisäksi tulee ottaa huomioon se, että paaluihin ei saa syntyä vetorasitusta tavallisissa kuormitustapauksissa.

#### 4.124 Perustuksen siirtymät

Paalujen muodonmuutoksien aiheuttamat perustuksen ja laakeritason siirtymät tulee määrätä ainakin pysyvästä kuormista. Kitka- ja koheesioaalujen kimmoitumien siirtymien vaikutus tulee arvioida erikseen. Perustusten siirtymien kannatinrakenteeseen aiheuttamia lisärasituksia määrittäessä otetaan huomioon se, mitä kohdassa 2.21 on sanottu.

#### 4.13 Peruslaatta

Peruslaatan taivutusmomentit voidaan yleensä määrätä likimääräisesti käsittelemällä sitä sopiviin kaistaleisiin jaettuna palkkiteorian mukaan. Kaistaleisiin taivutusta aiheuttava kuormitus saadaan tällöin peruslaatan ylä- ja alapintaan vaikuttavien paineiden erotuksesta. Mikäli peruslaattaa rasittavat suuret keskittetyt kuormat, on syytä suorittaa laskelmat laattateorian mukaan.

Mikäli pohjapaineen ei voida olettaa jakautuvan suoraviivaisesti, tarkastellaan peruslaattaa kimmoisella alustalla olevana laattana tai vastaavalla tavalla tuettuina palkkikaistaleina. Pohjapaineen jakautuma tai paaluvoimat määrätään tällöin samalla kuin peruslaatan taivutusmomentitkin. Tällainen tapaus esiintyy käytännössä lähinnä silloin, kun koko siirtä on perustettu yhtenäiselle peruslaatalle.

#### 4.2 Maatuet ja välituet

##### 4.21 Maanpaine

Maatukiin tai välitukiin kohdistuva maanpaine lasketaan kohdassa II 4.3 annettujen ohjeiden mukaan. Pääasialliseen maanpaineeseen nähden vastakkaisen, esimerkiksi maatuen etupintaan vaikuttavan maanpaineen saa ottaa huomioon lepopaineen suuruksena, mikäli ko. maamassan vakavuus ja tiiviys voidaan todeta riittäväksi.

##### 4.22 Päällysrakenteen pituudenmuutosten vaikutus

Betonin kutistumisesta ja hiihumasta päällysrakenteeseen syntyvien pituudenmuutosten pillareihin aiheuttamia jännityksiä laskettaessa voidaan betonin hiihumaa ottaa huomioon kohdan IV 2.21 mukaan.



#### 4.3 Ankkurit ja vastapainot

##### 4.31 Maanpaine

Ankkureiden ja vastapainojen siirtymistä estävä maanpaine voidaan kitkamaassa määrätä kohdan II 4.33 mukaan passiivipaineena, mikäli syntyvien siirtymien vaikutus voidaan eliminoida rakenteellisin keinoin. Vastapainoihin kohdistuvan passiivisen maanpaineen suuruutta laskettaessa saa mukaan ottaa maamassan alueelta, joka sivusuunnassa leviää rakenteen reunolista enintään kulmassa  $\frac{2}{3} \phi$ . Rakenteen pohjapintaan vaikuttavan kitkavoiman suuruus voidaan määrätä kohdan IV 4.114 mukaan.

##### 4.32 Varmuus

Käytettäessä passiivista maanpainetta hyväksi varmuustarkastelussa tulee ankkurin tai vastapainon tasapainon säilyä, kun kuormittava pysyvä kuorma vaikuttaa varmuuskertoimella 2,0 kerrottuna ja hyötykuorma kertoimella 3,0 kerrottuna.

##### 4.33 Siirtymät

Mikäli siirtymiä ei tarkemmin määrätä, tulee maanvaraisten vastapainojen osalta varautua ainakin 2 cm suuruisiin siirtymiin.



## 5. Kannatinrakenteet

### 5.1 Laattasillat

#### 5.11 Yleistä

Laattasiltojen kantavien laattojen staattisten laskelmien tulee perustua laattateoriaan. Käytettäessä taulukkokirjoja hyväksi laskelmissa voidaan reunojen todellista kiinnitysastetta ja todellisia sivusuhteita vastaavien suureiden arvojen saamiseksi taulukkoarvojen kesken interpoloida. Pyörä- ja nauhakuormien voidaan olettaa jakautuvan  $45^\circ$  kulmassa laatan keskitasolle asti.

Mikäli laatan jännemitan ja kantavan osan leveyden suhde  $\geq 2$ , voidaan yleensä olettaa laatan taipuvan maksimikuorman vaikuttaessa lieriöpinnaksi, jolloin laatan pituussuuntaisten jännitysten jakautuminen voidaan määrätä sen mukaisesti. Jännitysten määrittämiseen on syytä soveltaa laattateoriaa keskitettyjen kuormien vaikutusta tarkasteltaessa, esim. välitukien kohdalla silloin, kun tukena on yksi kapea pilari. Edellä esitetystä tapauksesta tulee tarkistaa epäkeskeisen kuormituksen aiheuttama vääntöjännitys. Teräsbetonilaattojen ja jännitettyjen betonilaattojen laskelmissa suositellaan käytettäväksi betonin suppeumaluvulle  $\nu$  arvoa  $1/6-1/5$ , mutta ensinmainitussa tapauksessa pituussuuntaisten terästen jännityksiä laskettaessa on paikallaan käyttää arvoa  $\nu = 0$ . Epäsäännöllisiä laattoja laskettaessa laskelmien muodostuessa laatan epäsäännöllisyyden vuoksi epätarkoiksi, voi tulla kysymykseen suorittaa mitoitus pienoismallien avulla.

Teräsbetonilaattojen sallittuina jännityksinä käytetään betoni- ja teräsbetonirakenteita koskevissa määräyksissä laatoille sallittuja jännityksiä. Sellaisessa kohdassa laattaa, jossa palkkirakenteiden hakateräksiä koskevat määräykset ovat täytetyt, voidaan betonin sallittuna normaali-jännityksenä kuitenkin käyttää samaa arvoa kuin suorakaiteenmuotoisella palkilla. Edellyttäen, että pilareiden hakoja koskevat määräykset tulevat samalla täytetyiksi, voidaan myös puristusteräksset ottaa huomioon.

Laatan varmuus murtumista vastaan voidaan määrätä myötöviivateorian mukaan silloin, kun on kysymys kohdassa IV 1.1 tarkoitetuista erikoistapauksista. Poikkileikkauksen kapasiteettia laskettaessa saa tällöin ottaa huomioon vain ne teräkset, jotka ulottuvat myötöviivan yli riittävän tartuntapituuden verran.



### 5.12 Ontelolaatat

Ontelolaattojen laskemiseen voidaan soveltaa massiivilaattojen teoriaa, mutta suositeltavaa on, että niiden erillainen taivutusjäykkyys pituus- ja poikkisuuntaan otetaan huomioon. Sallittuina jännityksinä käytetään laattojen sallittuja jännityksiä ottaen huomioon kohdassa IV 5.11 esitetyt lisäykset. Vinosta vetojännityksistä muodostuvan työntövoiman vastaanottamiseksi tarvittavia teräksiä laskettaessa sovelletaan laattoja koskevia määräyksiä. Onteloiden välisen kannaksen leikkausjännitys lasketaan sen ohuimmassa kohdassa. Ontelon ala- ja yläpuolelle jäävään kannakseen poikkisuuntaisesta leikkausvoimasta ja vääntömomentista aiheutuvaan leikkausjännitykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota sillan ollessa vinokulmainen.

### 5.13 Vinokulmaiset laatat

Vinokulmaisten laattojen staattiset laskelmat tulee suorittaa vinokulmaisen laatan teorian mukaan. Tällöin on syytä ottaa huomioon myös tukireaktion jakautumisessa tapahtuvat muutokset suorakulmaiseen laattaan verrattuna. Käytettäessä kokoonpuristuvia laakereita on tarpeen selvittää kokoonpuristumien vaikutus laatan jännityksiin erityisesti laatan tylpissä nurkissa. Mikäli laatan vinouskulma  $\leq 20^\circ$ , voidaan kuitenkin tyytyä seuraavaan likimääräismenettelyyn:

Päämomenttien suuruus määrittään suorakulmaisen laatan teorian mukaan. Laskettaessa laatan reunassa vaikuttavaa taivutusmomenttia käytetään jännemittana reunan suuntaista jännemittaa ja vastaavasti laatan keskiviivalla vaikuttavaa momenttia laskettaessa reunan suuntaisen ja tukiviivoja vastaan kohtisuoran jännemittan keskiarvoa. Pituussuuntaisen päämomentin voidaan otaksua olevan laatan reunassa reunan suuntainen ja poikkeavan laatan keskiviivalla puolen vinouskulman verran keskiviivasta vinouden suuntaan. Poikittaisen päämomentin voidaan otaksua vaikuttavan pituussuuntaista päämomenttia vastaan kohtisuorassa suunnassa. Laatan raudoituksen laskemisessa on syytä ottaa huomioon päämomenttien ja terästen suuntien väliset poikkeamat.

### 5.14 Paksuudeltaan muuttuvat laatat

### 5.15 Pilarilaatat

Pilarilaattoihin kuuluvien laattojen laskelmissa otetaan huomioon, mitä edellä on sanottu laattojen laskemisesta. Mikäli pilarilaatan reunoilla sillan päissä on riittävän jäykkä palkki, voidaan se otaksua tuetuksi ko. reunan pituudelta. Pilareista laattaan johtuvat taivutusmomentit on syytä ottaa huomioon laatan mitoituksessa. Mikäli pilarit liittyvät välittömästi laattaan, on pilarikuormat otettava laskelmissa huomioon keskitettyinä kuormina ja laatta on mitoitettava myös pilarien läpileikkautumiselle.



Penkereen sisään jääviä pilareita rasittavat normaali-voiman lisäksi pääliysrakenteen pituudenmuutoksista ja maamassan mahdollisista vaakasuorista liikkeistä aiheutuva taivutusmomentti ja leikkausvoima. Pääliysrakenteen pituudenmuutosten vaikutusta tarkasteltaessa pilaria voidaan vaakasuunnassa käsitellä kimmoisella alustalla olevana sauvana. Paaluun kohdistuvan maanpaineen  $P_z$  ja paalun ja maan välisen suhteellisen siirtymän  $Y$  välistä riippuvuutta kuvataan alustaluvulla  $k_z$   $P_z = k_z Y$ . Tapauksissa, joissa alustaluvun tarkka tunteminen ei ole välttämätöntä voidaan alustaluku  $k_z$  määrittää seuraavasti:

Kitkamaalle

$$k_z = \frac{n_h \cdot z}{B}$$

$z$  on syvyys maan pinnasta ja  $n_h$  on vakio, jonka arvot on annettu taulukossa IV 5.15.  $B$  on paalun läpimitta.

Taulukko IV 5.15. Vakion  $n_h$  arvot kitkamaan tiiviyyden funktiona (MN/m<sup>3</sup>)

Maan tiiviys	löyhä	normaali	tiivis
Pohjavedenpinnan yläp.	2,5	7,5	20
Pohjavedenpinnan alap.	1,4	5,0	12

Koheesiomaalle

$$k_z = \frac{(30 \dots 130) \tau_u}{B}$$

$\tau_u$  on koheesiomaan lyhytaikainen leikkauslujuus.

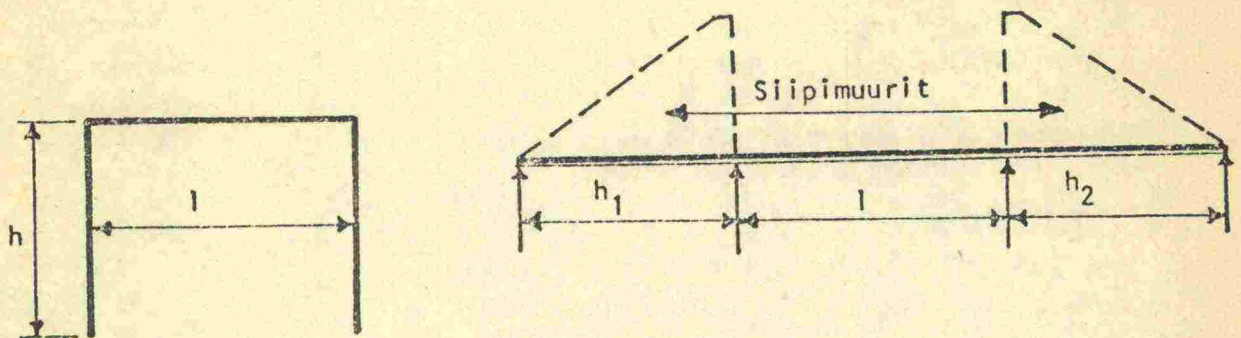
Paaluun kohdistuvan maanpaineen raja-arvona on maan murtumiseen paalun edessä tarvittava maanpaine.

Pilareiden taivutusrasituksia voidaan vähentää estämällä rakenteellisin keinoin maanpaineen muodostuminen niiden yläosaan. Penkereen pohjan tiivistymisestä johtuvien maamassan vaakasuorien liikkeiden aiheuttamat rasitukset pilareihin tulee määrätä erikseen.

## 5.16 Laattakehäsiilat

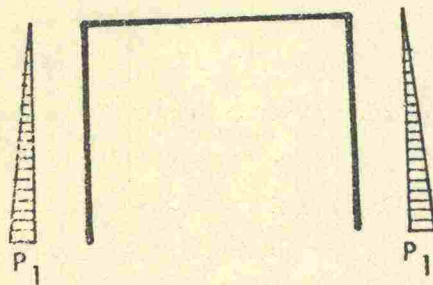
Laattakehäsiiltojen laskemisessa sovelletaan sopivilta osiltaan edellä laattojen laskemisesta annettuja ohjeita. Siirtymätön kehä on toiminnaltaan analoginen 3-aukkoiseen jatkuvaan laattaan verrattuna.





Kuva IV 5.16a

Laattakehän laskeminen voidaan suorittaa siten, että kehä lasketaan ensin siirtymättömänä ja otetaan siirtymän vaikutus erikseen huomioon. Siirtymättömän kehän laskeminen voidaan suorittaa laattateorian mukaan jolloin siipimuurien jäykistävä vaikutus on mahdollista tarkemmin ottaa huomioon. Kuormitustapauksille, joissa kehä saa sivusiirtymiä, voidaan ottaa huomioon siirtymästä aiheutuvan maanpaineen vaikutus seuraavasti:



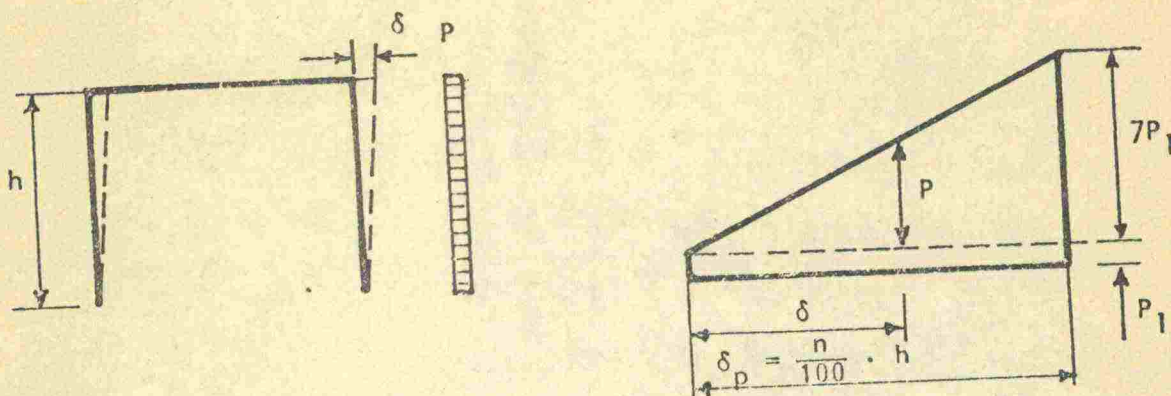
Kuva IV 5.16b

Siirtymättömän kehän molemmiin puolin oletetaan vaikuttavan jalan korkeudella lepopaine  $p_1 = k_1 \cdot h$ , jossa  $k_1$  = lepopainekerroin (vrt. II 4.32).

Klassillisen maanpaineteorian mukaan aktiivi-, lepo- ja passiivipaineiden suhteet ovat  $p_a : p_1 : p_p$  1:1,5:12. Täysin kehittynyt passiivipaine on siten  $p_p = 8 p_1$ . Siirtymästä aiheutuvan maanpaineen intensiteetti voidaan olettaa vakioksi kehänjalan korkeudella ja maanpaineen oletetaan kasvavan suoraan verrannollisena siirtymään. Jos täysin kehittyneelle passiivipaineelle tarvittava seinän yläreunan siirtymä on  $n$  [%] seinän korkeudesta, on siirtymä  $\delta$  vastaava maanpaine. (kuva IV 5.16c)

$$p = \frac{\delta}{\delta_p} \cdot 7p_1 = \frac{700}{n} k_1 \cdot \delta$$





Kuva IV 5.16c

Pohjarakennuksen normien mukaan voidaan lepopaineen katsoa olevan 50 % aktiivista painetta suuremman. Passiivipaineen kehittymiseen tarvittava siirtymä  $n$  [%] riippuu pengermateriaalin tiiveydestä.

Pysyvän maanpaineen epäsymmetrinen vaikutus kehään saadaan siten, että kuormitetaan kehää myös toispuoleisella maanpaineella, jonka suuruus on 15 % edellisestä lepopaineen arvosta. Hyötykuorman aiheuttama maanpaine lasketaan lepopaineena ja sen katsotaan voivan vaikuttaa kokonaisuudessaan toispuoleisesti kehään. Vinokuimalaisissa laattakehissä aiheuttaa maanpaine rakenteeseen pysty akselin suhteen momentin, joka tulee ottaa huomioon perustusten mitoituksessa. Laattakehien perustusten pysyvistä ja pitkäaikaisista kuormista syntyvien siirtymien keskinäiseksi eroksi oletetaan pystysuunnassa vähintään  $\pm 1$  cm ja vaakasuunnassa  $+1$  cm tai  $-1$  cm horisontaalivoiman suunnasta riippuen, tai  $\pm 0,5$  cm horisontaalivoiman suunnan vaihdellessa ellei tarkempaa selvitystä perustusten siirtymistä suoriteta. Siirtymien vaikutukset yhdistellään siten, että rakenteeseen syntyvät lisäjäännitykset saavat suurimman arvonsa. Lisäjäännityksiä laskettaessa otetaan hilpuman vaikutus huomioon kohdan IV 2.21 mukaan. Kallionvaraiset perustukset katsotaan liikkumattomaksi, mikäli niiden varmuus liukumista vastaan on riittävä.

## 5.2 Palkkisillat

### 5.21 Palkkilarinat

Kuormien jakautuminen palkkilarinoissa määritetään arinateorian mukaan. Teräsbetonisilloissa tulee pääkannettajien vääntöjäykkyys yleensä ottaa laskelmissa huomioon. Mikäli vääntöjäykkyys kuormien jakautumista määrittäessä jätetään



huomioon ottamatta, tulee kannattajiin syntyvät vääntöjännitykset kuitenkin laskea ainakin likimääräisesti. Teräspalkkisilloissa voidaan I-profiiliin muotoisten kannattajien vääntöjäykkyys jättää huomioon ottamatta. Kansilaatan vaikutus kuormien jakautumiseen voidaan yleensä määrätä likimäärin lisäämällä jakopalkkien taivutusjäykkyys kansilaatan taivutusjäykkyys. Jakopalkkeihin ja kansilaattaan arinavaikutuksesta syntyvä taivutusmomentti jakautuu tällöin em. jäykkyyksien suhteessa.

#### 5.22 Kotelopalkkisillat

Suorakulmaisen sillan kotelomaisen pääkannattajan voidaan otaksua taivuvan sylinteripinnaksi, mikäli jännemitan ja kotelon leveyden välinen suhde  $> 5$  ja kotelon poikkileikkauksen muodon muuttuminen on estetty. Jänteensuuntaiset taivutusjännitykset jakautuvat pääkannattajan poikkileikkauksessa tällöin painopiste- tai neutraaliksi laskettujen etäisyyksien suhteessa. Epäkeskeisen kuormituksen aiheuttamat vääntöjännitykset voidaan määrätä vapaan väännön teorian (De Saint Venantin vääntöteoria) mukaan. Em. leveämpien kotelopalkkien laskelmissa tulee jännitysten jakautuminen poikkileikkauksessa määrätä tarkemmin kuin edellä. Tällöin voidaan soveltaa esim. ortotrooppilaatan teoriaa. Mikäli kotelopalkista puuttuvat poikkileikkauksen muodon muuttumista estävät poikkipalkit, on laskelmat syytä suorittaa pölmurakenteiden teorian mukaan.

Vinokulmaisten kotelopalkkien osalta on huomattava, että rakenteeseen syntyy suuria vääntömomenteja, jotka vaikuttavat oleellisesti pääjännitysten suuntaan ja suuruuteen.

Useista erillisistä kotelopalkkeista ja jakopalkkeista muodostuvan palkkilarinan laskelmat suoritetaan arinateorian mukaan ottaen huomioon kotelopalkkien vääntöjäykkyys.

#### 5.23 Liittopalkkisillat

Liittopalkkisilloja suunniteltaessa voidaan laskelmat suorittaa normissa DIN 1078 esitettyjen periaatteiden mukaan. Sallittuina jännityksinä voidaan käyttää em. normissa annettuja arvoja. Betonin eri lujuusluokkien sallitut jännitykset saadaan taulukkoarvoista suoraviivaisesti interpoloimalla.

#### 5.3 Kaari- ja holvisillat



#### 5.4 Ristikosillat

Ristikosillat lasketaan tavallisesti huomioonottamatta sekundäärijännityksiä, jolloin oletetaan sauvojen liittyvän toisiinsa nurkkapisteissä nivelellisesti. Suoritettaessa laskelmat edellä mainitulla otaksumalla, on käytettävä pieniä nurkkalevyjä ja nurkat muotoiltava siten, että ne eivät aiheuta suurta vastusta ristikon taipuessa. Jos ristikon nurkat ovat jäykät, on sauvojen kiinnitysmomenteista aiheutuvat sekundäärijännitykset otettava huomioon. Ristikosilloissa, jossa nurkat ovat hitsatut tai kiinnitykset on tehty kitkapulteilla, voidaan ristikko laskea st. epämääräisenä sauvarakenteena, jolloin saadaan sauvoihin vaikuttavat leikkaussuureet  $M, Q$  ja  $N$ .

Ristikosilltojen laskelmissa oletetaan normaalisti, että voimat vaikuttavat ristikon nurkkapisteissä. Tavallisesti silloissa ovat polkkikannattajat nurkkapisteiden kohdalla, jolloin oletamus on oikea. Jos paarre on välittömästi kuormitettu, kuten esim. liittopalkkisilloissa, kun kansilaatta liittyy välittömästi paarteeseen, on tällöin otettava huomioon paarteeseen aiheutuvat taivutusmomentit ja leikkausvoimat, joko yksinkertaisina- tai jatkuvina palkkeina paarteiden jatkosten toiminnan mukaan.

Sillnä tapauksessa, että puristuspaarre on jatkuva, tulee paarteen tukipisteinä olevien nurkkapisteiden painumasta paarteelle aiheutuva lisämomentti ottaa huomioon.

Sauvojen omapaino oletetaan sijoitetuksi nurkkapisteisiin. Ainoastaan puristussauvoissa, joiden vaakatasolle projisoitu pituus  $l_H \geq 6$  m, on jännitystarkastelussa otettava mukaan taivutusmomentti  $M = \frac{Gl}{10}$ . Myös tuulesta aiheutuvat poikittaisskuormat voidaan sijoittaa nurkkapisteisiin.

Vaatimus, että ristikon sauvojen painopisteakselit yhtyvät systeemiivoihin, aiheuttaa usein konstruktiivisia vaikeuksia ja vaatimusta ei voida aina täyttää. Sellaisissa tapauksissa, joissa sauvapoikkileikkaus mitoitetaan epäkeskeisyys huomioiden, voidaan sallittuja jännityksiä korottaa 10 %. Sellaista epäkeskeisyyttä ei tarvitse ottaa huomioon, kun systeemiivliiva puollittaa nurkkaan liittyvien sauvojen painopisteakseleiden välin.

Epäkeskeisyyttä ei voida kokonaan välttää epäsymmetrisissä poikkileikkauksissa. Tällaiset ratkaisut voivat erityisesti kiinnityskohdissa syntyvien taivutusmomenttien johdosta vaikuttaa sillan kantokykyyn, joten tämän takia tulisi aina pyrkiä symmetrisiin poikkileikkauksiin.

#### 5.5 Riippusillat



## 5.6 Avattavat sillat

Avattavia siltoja suunniteltaessa tulee suoritettavaksi laskelmat kahdelle rakennesysteemille, jotka vastaavat sillan suljettua ja avattua asentoa. Avattava silta on tavallisesti levy- tai ritiläkantinen terässilta.

On huomattava, että pääsysteemien poikkileikkausarvot voivat olla erilaiset suljetulle ja avatulle asennolle, koska tukemistavasta johtuen kansirakenteen toimiva leveys muuttuu. Avattavien siltojen laskelmien suhteen on voimassa mitä edellä on mainittu kiinteistä (teräs)silloista. Tällöin on siis suoritettava esim. jännitys- ja vakavuustarkastelut molemmille systeemeille. Siltaa avattaessa syntyvät sysäysvoimat on otettava huomioon. Sillan omaanpainoon on lisättävä 10 % sysäysten ja heilahtelujen takia. Käyttökoneistoista siltaan aiheutuvat voimat on otettava huomioon ja mahdollisessa törmäystapauksessa syntyvät voimat on otettava vastaan sellaisilla valmentimilla, että syntyvien voimien johdosta sillalla on tarpeellinen varmuus jännityksiin ja vakavuuteen nähden (kaatuminen).

Varsinkin läppäsilloissa on kiinnitettävä erityistä huomiota voimien tasapainotukseen. Tällöin on otettava laskelmissa huomioon pääliikkeen kulumisen ja uudelleen pääliikettäminen ja näitä muutoksia vastaavat siirrettävät vastapainot.



6. Kansilaatat

6.1 Teräsbetoniset kansilaatat

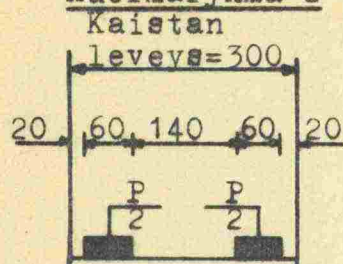
Teräsbetonisten kansilaattojen laskelmat suoritetaan laattateorian mukaan ottaen soveltuvilta osiltaan huomioon kohdassa IV 5.1 esitetyt ohjeet laattasiltojen laskemisesta. Pääkannattajien talpumaeroista kansilaattaan syntyvät jännitykset tulee ottaa huomioon.

6.2 Teräksiset kansilaatat



33 ja 38 t lautan kannen kuormakaavio

Kuormaryhmä I

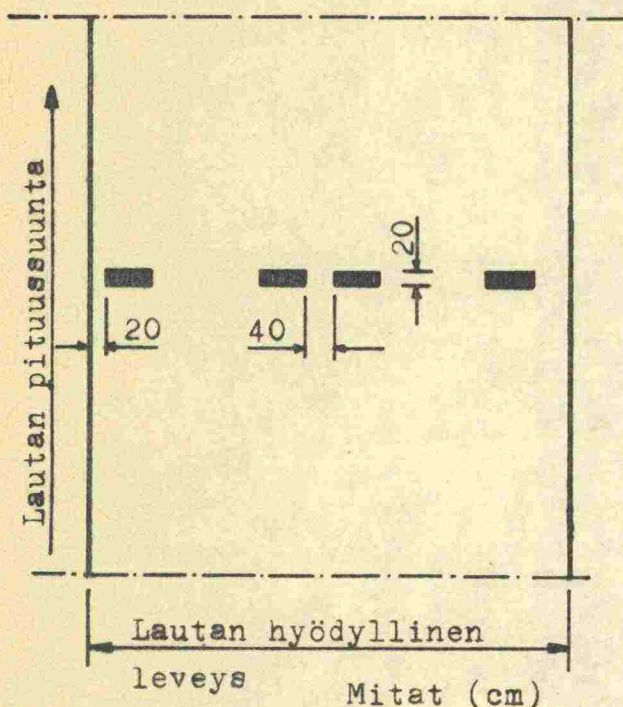


Suuruus:  $P = 140 \text{ kN}$  akseli-  
kuorma kullakin kaistalla

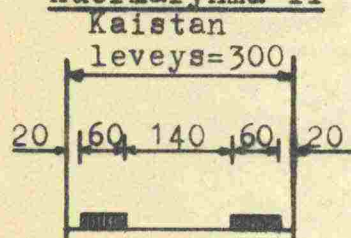
$$\frac{P}{2} = 70 \text{ kN}$$

Sysäyskerroin: 1

Sijoitus: Kuormaryhmät voivat sijaita sivusuunnassa lautan kannen hyödyllisen leveyden ja pituussuunnassa hyödyllisen pituuden rajoissa.



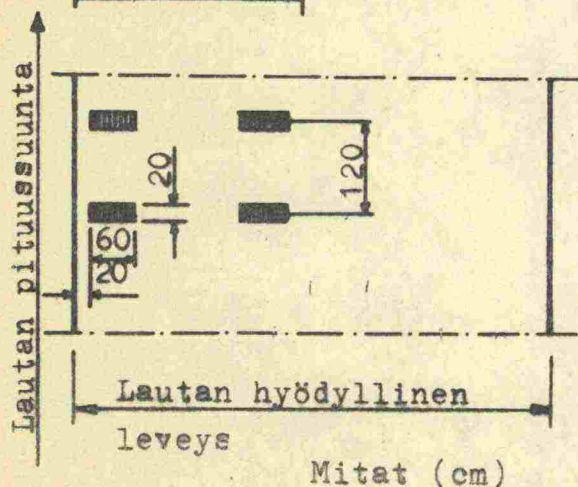
Kuormaryhmä II



Suuruus: 280 kN:n telikuorma

Sysäyskerroin: 1

Sijoitus: Kuormaryhmä voi sijaita sivusuunnassa lautan kannen hyödyllisen leveyden ja pituussuunnassa hyödyllisen pituuden rajoissa.



Kuormaryhmät I ja II eivät vaikuta samanaikaisesti.



## Piirustuskoot

Piirustuksen korkeutena suositellaan käytettäväksi 594 mm (2 x 297 mm) ja suurimpana pituutena 1260 mm (6 x 210 mm).

Ilman pakottavaa syytä ei saa käyttää suurempaa korkeutta kuin 891 mm (3 x 297 mm) eikä suurempaa pituutta kuin 1470 mm (7 x 210 mm).

Piirustuksiin jätetään varsinaisen kuva-alueen ulkopuolelle 40 mm leveä reunus joko vasempaan reunaan tai yläreunaan riippuen piirustuksen koosta. Jos piirustuksen suurin sivumitta on  $\leq 891$  mm, reunus sijoitetaan lyhyemmälle sivulle, muussa tapauksessa pidemmälle sivulle. Reunus on tarpeen piirustuksen kiinnittämiseksi säilytyslaatikon kannatinlaitteeseen.



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS  
Ses

OHJE  
12.12.1975

1 (2)

### Ohje piirustusten numeroinnista

Piirustuksen numero muodostetaan siltasuunnitelman numerosta ja piirustuksen laatua ja järjestystä suunnitelmasa osoittavasta kirjainnumeroyhdistelmästä.

Piirustuksen laatua osoittavat kirjaintunnukset ovat:

- a = yleispiirustus
- b = alusrakenne
- c = päällysrakenne
- d = varusteet ja laitteet
- e = asennus- tai telinepiirustus
- f = varasilta

Samaa laatua olevat piirustukset numeroidaan kirjaintunnuksen jälkeen siitä vaakaviivalla erotetulla juoksevilla numerolla alkaen ykkösestä, jolloin muodostuu edellä mainittu kirjainnumeroyhdistelmä.

Alustava suunnitelma numeroidaan siltasuunnitelman numerolla. Jos on useampia vaihtoehtoisia alustavia suunnitelmia, ne osoitetaan siltasuunnitelman numerosta viivalla erotetulla järjestysnumerolla.

Jos suunnitelma kuuluu osana yhtenäiseen tienrakennussuunnitelmaan liitettäviin piirustuksiin (esim. moottoritie-sillat) tulee piirustusnumeroon vielä ensimmäiseksi numeroksi TVH:n asiakirjajärjestelmän siltapiirustusten ryhmänumero. Tämä numero erotetaan kauttaviivalla muista numeroista.



Alus- ja päällysrakenteeseen kuuluvat asiat esitetään yleensä eri piirustuksissa. Jos kuitenkin joudutaan samassa piirustuksessa esittämään oleellisia asioita sekä alus- että päällysrakenteesta, voidaan kirjaintunnukset yhdistää, esim. 8751 bc. Tällaisia tapauksia tulee pyrkiä mahdollisuuksien mukaan välttämään.

Siltasuunnitelman numero varataan suunnitelmanumeroluettelosta sillansuunnittelutoimiston piirustusarkistosta.

Piirustuksen numero sijoitetaan sille varattuun paikkaan nimiöön ja lisäksi piirustukseen jätetyn leveän reunuksen vasemmanpuoleiseen päähän kuva-alueelle kyseisen reunuksen suuntaisena.

Muutoksen merkitsemisessä noudatetaan rakennepiirustusohjeita. Muutoksen tunnuksena käytetään aakkosjärjestyksessä etenevää isoa kirjainta. Piirustusnumerossa muutoksen tunnus kirjoitetaan piirustusnumeron jälkeen.

Esimerkkejä:

8751-1	= alustava suunnitelma, vaihtoehto n:o 1
8751 b-2	= alusrakennepiirustus
8751 b-2B	= kahdesti muutettu alusrakennepiirustus
27/8762 c-1	= yhtenäiseen tien rakennussuunnitelmaan kuuluva sillan päällysrakennepiirustuksen numero



Liite III.3, betoniteräsluettelo, puuttuu

(Se lähetetään valmistuttuaan ohjeen jakelulla)



			TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS		
			Sillansuunnittelutoimisto	Piir. n:o	
Suunn.			Suunn.		
Tark.			Tark.		
Hyv.			Hyv.		

Jännitys-  
menetelmät : ..... Jänteet: .....

Puristimet: 1. .... Koetodistukset: .....  
2. ....

Koetodistukset: .....

1. Betonin vaadittu lujuus jännittämishetkellä  $K_t$  ..... MN/m<sup>2</sup> ( ..... kp/cm<sup>2</sup>)
2. Jänteet jännitetään pöytäkirjassa esitetyssä järjestyksessä.
3. Jännittäminen on suoritettava siten, että kokonaisvenymä  $\Delta_M = \Delta$
4. Pöytäkirjassa annetut venymäarvot tarkoittavat venymiä alkaen voimasta  $P =$  MN (=  $M_p$ ) tai puristinpaineesta  $p =$  N/mm<sup>2</sup> (= kp/cm<sup>2</sup>)
5. Arvoja laskettaessa on otettu huomioon ankkurikappaleen ja puristimen pidikkeiden välisen janteen osan venymä.
6. Laskettu sillan pituussuuntainen kimmoinen kokoonpuristuma = ..... mm.
7. Injektointia, jänteiden päiden katkaisemista tai muita uudelleen jännittämistä estäviä toimenpiteitä ei saa suorittaa ennenkuin työnvalvoja on hyväksynyt jännittämispöytäkirjan.
8. Laskelmissa on käytetty seuraavia arvoja:  
 Jänneteräksen kimmokerroin  $E_t =$  ..... MN/m<sup>2</sup> (= kp/cm<sup>2</sup>)  
 Kitkakerroin  $f =$  .....  
 Aaltoisuusluku  $\beta =$  ..... 1/m  
 Pumppukerroin = ..... %  
 Puristimien tehollinen pinta-ala : 1. .... cm<sup>2</sup>  
 2. .... "

Jännittäminen ja injektointi on suoritettu oheisen pöytäkirjan mukaisesti

..... / .. 19...

Työnjohtaja

Työnvalvoja

Jännitettyjen rakenteiden betonityönjohtaja



# Jännittämistyön suunnitelma ja pöytäkirja, lomake 2

Piir. n:o

Riv.

Rakenneos / Jännittämisvaihe

Jänne ( jännittämisjärjestyksessä )

n:o

Pituus ( Ankkurikappaleen ulkopinnasta ulkopintaan jännettä pitkin )

mm

Lasketut arvot	Puristin- paineet	Suurin sallittu puristin paine <sup>1)</sup>		$P_1$	$N/mm^2$ $kp/cm^2$	4		
		Laskettu puristin paine (Ennen päästöä ja lukitusta)		$P_0$	"	5		
		Pienin sallittu puristin paine		$P_2$	"	6		
	Venymät	Ankkuri A	Venymä ennen päästöä ja lukitusta. (Alkaen voimasta <sup>2</sup> $P = MN(\Delta Mp)$ tai paineesta $p = N/mm^2(\Delta kp/cm^2)$ )			mm	7	
			Päästö- ja lukitushäviö			"	8	
			Lopullinen venymä ankkurilla A. (Alkaen voimasta <sup>2</sup> $P = MN(\Delta Mp)$ tai paineesta $p = N/mm^2(\Delta kp/cm^2)$ )		$\Delta_A$	"	9	
		Ankkuri B	Venymä ennen päästöä ja lukitusta. Alkaen voimasta <sup>2</sup> $P = MN(\Delta Mp)$ tai paineesta $p = N/mm^2(\Delta kp/cm^2)$ )			"	10	
			Päästö- ja lukitushäviö			"	11	
			Lopullinen venymä ankkurilla B. (Alkaen voimasta <sup>2</sup> $P = MN(\Delta Mp)$ tai paineesta $p = N/mm^2(\Delta kp/cm^2)$ )		$\Delta_B$	"	12	
	Lopullinen kokonaisvenymä $\Delta = \Delta_A + \Delta_B$			$\Delta$	"	13		
	Mitatut arvot	Ankkuri A	Mitta- merkkien välimatka	Välittömästi ennen lukitusta		$A_2$	mm	14
				Välittömästi lukituksen jälkeen		$A_3$	"	15
				Voiman $P = MN(\Delta Mp)$ tai puristin paineen $p = N/mm^2(\Delta kp/cm^2)$ vaikuttaessa		$A_1$	"	16
Lopullinen venymä ankkurilla $A = A_3 - A_1$			$A$	"	17			
Puristin paine ennen päästöä ja lukitusta ankkurilla A <sup>1)</sup>				$N/mm^2$ $kp/cm^2$	18			
Ankkuri B		Mitta- merkkien välimatka	Välittömästi ennen lukitusta		$B_2$	mm	19	
			Välittömästi lukituksen jälkeen		$B_3$	"	20	
			Voiman $P = MN(\Delta Mp)$ tai puristin paineen $p = N/mm^2(\Delta kp/cm^2)$ vaikuttaessa		$B_1$	"	21	
		Lopullinen venymä ankkurilla $B = B_3 - B_1$		$B$	"	22		
		Puristin paine ennen päästöä ja lukitusta ankkurilla B <sup>1)</sup>			$N/mm^2$ $kp/cm^2$	23		
		Lopullinen kokonaisvenymä $\Delta_M = A + B (\cong \Delta)$		$\Delta_M$	mm	24		
		Jännittämis päivä		197	pv	25		
Tarkis- tus las- kenta.	Venymäero $\Delta_M - \Delta$			mm	26			
	Lukitushäviö ankkurilla $A = A_2 - A_3$			"	27			
	Lukitushäviö ankkurilla $B = B_2 - B_3$			"	28			
Injektointipäivä				197	pv	29		
Ilman lämpötila Rakenteen lämpötila					°C	30		

Huomautuksia:

31

1) Puristin paineelle ilmoitetaan lasketut arvot sekä  $N/mm^2$ :inä että  $kp/cm^2$ :inä ja mitatut arvot joko  $N/mm^2$ :inä tai  $kp/cm^2$ :inä. Yksikkö, jota ei käytetä, yliviivataan.



Rivi	Jännittämistyön suunnitelma ja pöytäkirja, lomake 3											Sivu
	Piir. n:o											
1												
2		n:o										
3		mm										
4	$P_1$	$N/mm^2$ $kp/cm^2$										
5	$P_0$	"										
6	$P_2$	"										
7		mm										
8		"										
9	$\Delta_A$	"										
10		"										
11		"										
12	$\Delta_B$	"										
13	$\Delta$	"										
14	$A_2$	mm										
15	$A_3$	"										
16	$A_1$	"										
17	$A$	"										
18		$N/mm^2$ $kp/cm^2$										
19	$B_2$	mm										
20	$B_3$	"										
21	$B_1$	"										
22	$B$	"										
23		$N/mm^2$ $kp/cm^2$										
24	$\Delta_M$											
25	197	pv										
26		mm										
27		"										
28		"										
29	197	pv										
30		°C										
31												